

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Parasitologie

Département : Biologie

Thème :

Les micromycètes parasites des végétaux destinés à l'alimentation humaine et animale

Présenté par :

- NEKOUB ILHEM**
- BELKHAJET ANES**

Devant le jury composé de :

Président	M^{me} GRARA N.	Prof	Université de Guelma
Examineur	Mr KSOURI S.	M.C.A	Université de Guelma
Encadreur	M^{me} BENERBAIHA R.S.	M.A.A	Université de Guelma

2024 - 2025

REMERCIEMENTS

Nous remercions **Dieu** de nous avoir donné la force pour réaliser ce travail.

A la présidente de notre jury, professeur GRARA NOUDJOUR

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury.

Hommage respectueux.

A monsieur KSOURI SAMIR, maître de conférences A

Qui a accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire.

Sincères remerciements.

A Madame BENERBAIHA ROUMAILA SABRINA

Que nous remercions particulièrement pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'elle trouve ici le témoignage de notre gratitude.

A toutes les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce travail.

Un grand Merci.

Dédicace

**Pour ceux qui sont ma force,
Ceux qui m'aiment en silence et en acte,**

Ma Mère et Mon Père

Ce mémoire est un bout de vous, porté fièrement par moi.

Mon Mari et Ma Fille, ma plus belle lumière.

Mon frère et Mes sœurs.

Et vous tous, Ma famille, Mes amis.

Ilhem

Dédicaces

Mon cher père, je demande à Dieu de le protéger et de prolonger sa vie.

Ma chère mère qui est ma source d'énergie, elle a été à mes côtés et n'a jamais cessé de m'encourager, c'est votre succès et le résultat de votre bienveillance.

A mes chères sœurs, Lina, Ines et Hiba Malek pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À tous mes amis qui m'ont encouragé dans les moments difficiles : Faycel et son fils Adem, Fateh et sa fille Cylia, Karim, Salah, Zaki, Okba, Aymen et notre préparateur physique monsieur Redwan Touchi.

À l'âme de mon grand-père qui a toujours été à mes côtés et m'a soutenu. Que Dieu ait pitié de toi.

À celle dont la présence discrète fut un soutien silencieux ma chère Racha

A mon encadreur Mme Benerbaiha merci pour vos efforts avec nous qui mérite tout mon respect.

Anes

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	page
01	Les principaux embranchements des mycètes	04
02	Champignons holomorphes de la classe des Ascomycètes	04
03	Classification du blé	13
04	Classification de l'espèce <i>Hordeum vulgare</i> L	17
05	Classification de l'espèce <i>Zea</i> Mais	19
06	Les toxines produites par les espèces de <i>Fusarium</i>	52
07	Les toxines produites par les espèces d' <i>Alternaria</i>	52
08	Les alcaloïdes produits par les espèces de <i>Claviceps</i>	53
09	Quantité maximale autorisée dans les céréales destinées à l'homme en Europe	59
10	Teneurs maximales recommandées (en µg/kg) en mycotoxines pour les aliments destinés à l'alimentation animale	60
11	Teneurs maximales (en µg/kg) en AFB1 pour les aliments destinés à l'alimentation animale	61

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
01	Hyphe cénocytique (a) et hyphe septé (b)	05
02	La structure de la paroi fongique	06
03	La reproduction des champignons microscopiques	08
04	Le blé tendre	14
05	Le blé dur	14
06	Cycle de développement du blé tendre	15
07	L'orge	18
08	Le maïs	20
09	Production céréales dans le monde	22
10	L'évaluation de la production des céréales en Algérie	23
11	<i>Microdochium nivale</i> aspect microscopique	26
12	<i>Puccinia striiformis</i> (rouille jaune) aspect microscopique	27
13	<i>Puccinia recondita</i> (rouille brune) aspect microscopique	27
14	<i>Puccinia graminis</i> (rouille noire) aspect microscopique	28
15	L'espèce <i>Phaeosphaeria nodorum</i>	29
16	Aspect des colonies des espèces de <i>Fusarium</i> sur milieu P.D.A.	30
17	Les macroconidies de <i>Fusarium graminearum</i>	31
18	Aspect macroscopique d' <i>Alternaria alternata</i>	32
19	Observation microscopique d' <i>Alternaria alternata</i>	33
20	Sclérote de <i>Claviceps purpurea</i>	35
21	La fusariose de l'épi du blé	39
22	Les symptômes de la fusariose de l'épi sur l'épi(A) et grains de blé fusariés (B)	39
23	Cycle de développement de la fusariose de l'épi chez le blé et le maïs	41
24	La septoriose des feuilles à <i>Septoria tritici</i>	42
25	Cycle de développement de <i>S. tritici</i> présentant les deux phases : sexuée et asexuée	43
26	Symptômes de <i>Septoria nodorum</i>	44
27	Maladie de la rouille brune	45
28	Cycle de développement de <i>Puccinia recondita</i>	46
29	La rouille jaune du blé	47

30	Cycle de développement de <i>P. striiformis</i>	48
31	La rouille noir du blé	49
32	Cycle de développement de <i>Puccinia graminis</i>	50

Résumé

Cette étude bibliographique est consacrée aux micromycètes parasites des plantes, en particulier les céréales comme le blé, le maïs et l'orge qui constituent la base de l'alimentation humaine et animale à l'échelle mondiale. Les cultures céréalières sont soumises à de nombreuses contraintes biotiques, notamment les pathologies fongiques telles que les rouilles, les septorioses et les fusarioses qui occasionnent des pertes considérables. Les espèces fongiques les plus courantes qui sont en cause sont de deux types : les non toxigènes (les espèces du genre *Microdochium*, du genre *Puccinia* et du genre *Phaeosphaeria*) et les toxigènes (les espèces du genre *Fusarium*, du genre *Alternaria*, et du genre *Claviceps*). Ces dernières, en plus de leurs effets pathogènes, ont la capacité de produire des mycotoxines ; substances toxiques potentiellement dangereuses pour la santé de l'Homme et des animaux, qui contaminent les céréales lors que les conditions environnementales sont propices. Une lutte intégrée s'avère indispensable par divers moyens pour prévenir le développement des champignons microscopiques parasites au champ (choix des variétés, pratiques culturales, traitements phytosanitaires) ainsi que le respect des normes concernant la réglementation en matière de sécurité alimentaire.

Mots clés : Micromycètes, parasites, céréales, *Microdochium*, *Puccinia*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Claviceps*, rouille, septoriose, fusariose.

Abstract

This bibliographic study is devoted to microscopic fungal parasites of plants, particularly cereals such as wheat, maize, and barley, which form the basis of human and animal nutrition on a global scale. Cereal crops are subjected to numerous biotic constraints, especially fungal pathologies such as rusts, septoria, and fusarium diseases, which cause considerable losses. The most common fungal species involved are of two types: non-toxigenic (species of the genera *Microdochium*, *Puccinia*, and *Phaeosphaeria*) and toxigenic (species of the genera *Fusarium*, *Alternaria*, and *Claviceps*). The latter, in addition to their pathogenic effects, have the ability to produce mycotoxins — toxic substances potentially dangerous to the health of humans and animals, which contaminate cereals when environmental conditions are favorable. Integrated control proves to be essential through various means to prevent the development of microscopic parasitic fungi in the field (varietal selection, cultivation practices, phytosanitary treatments) as well as compliance with standards regarding food safety regulations.

Key words : Micromycetes, parasites, cereals, *Microdochium*, *Puccinia*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Claviceps*, rust, septoria, fusarium disease.

المخلص :

تُكرّس هذه الدراسة البيبليوغرافية للفطريات المجهرية الطفيلية للنباتات، ولا سيما الحبوب مثل القمح، والذرة، والشعير، التي تُشكّل أساس الغذاء البشري والحيواني على المستوى العالمي. تخضع زراعات الحبوب لعدة ضغوطات حيوية، خاصة الأمراض الفطرية مثل الأصداء، والسبتوريوز، والفوزاريوز، التي تتسبب في خسائر كبيرة. الأنواع الفطرية الأكثر شيوعاً المتورطة تنقسم إلى نوعين: غير سامة (أنواع من جنس ميكرو دوكيوم، وجنس بوشينيا، وجنس فايوسفيريا) وسامة (أنواع من جنس فوزاريوم، وجنس ألترناريا، وجنس كلافيسييس). هذه الأخيرة، بالإضافة إلى آثارها الممرضة، لديها القدرة على إنتاج سموم فطرية؛ وهي مواد سامة تُعدّ خطرة محتملة على صحة الإنسان والحيوان، وتلوث الحبوب عندما تكون الظروف البيئية ملائمة. تُعدّ مكافحة المتكاملة ضرورية عبر وسائل متعددة للوقاية من تطور الفطريات المجهرية الطفيلية في الحقل (اختيار الأصناف، والممارسات الزراعية، والمعالجات النباتية)، إلى جانب احترام المعايير المتعلقة بالتشريعات الخاصة بسلامة الأغذية.

الكلمات المفتاحية : الفطريات المجهرية، الطفيليات، الحبوب، ميكرو دوكيوم، بوشينيا، فوزاريوم، ألترناريا، كلافيسييس، الصداء، التبقع السبتوري، مرض الفوزاريوز.

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
ملخص.....	V

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

CHAPITRE 01 : Les micromycètes

1. Définition	3
1.2. Classification des champignons microscopique.....	3
1.3. Les caractéristiques biologiques et morphologiques des champignons microscopiques.....	5
1.3.1. Caractéristiques morphologiques des champignons microscopiques.....	5
1.3.2. Caractéristiques biologiques des champignons microscopiques.....	7
1.3.2.1. Reproduction asexuée	7
1.3.2.2. Reproduction sexuée	7
1.4. Cycle de vie des champignons microscopiques parasites.....	8
1.5. Conditions de croissance des champignons microscopiques.....	9
1.5.1. Facteurs nutritionnels.....	9
1.5.1.1. La source de carbone ou d'énergie	10
1.5.1.2. La Source d'azote	10
1.5.1.3. Les éléments minéraux	10
1.5.1.4. Les Besoins en vitamines et en facteurs de croissance	10
1.5.2. Facteurs environnementaux	11
1.5.2.1. L'activité de l'eau ou l'Aw	11
1.5.2.2. La température	11
1.5.2.3. Le pH	12
1.5.2.4. La Lumière	12

1.5.2.5. L'oxygène (Aération)	12
-------------------------------------	----

CHAPITRE 02 : Les principales céréales

2.1. Description botanique des céréales.....	13
2.1.1. Le blé	13
2.1.1.1. La taxonomie du blé	13
2.1.1.2. Les caractéristiques morphologiques	14
2.1.2. L'orge	16
2.1.2.1. Taxonomie de l'orge	16
2.1.2.2. Les caractéristiques morphologiques	17
2.1.3. Le maïs	18
2.1.3.1. La taxonomie du maïs	18
2.1.3.2. Les caractéristiques morphologiques	19
2.2. Facteurs de vulnérabilité des céréales aux infestations fongiques	20
2.2.3. Importance économique et alimentaire des céréales	21
2.2.3.1. Importance économique	21
2.2.3.2. Importance alimentaire	23

CHAPITRE 03 : Les espèces fongiques parasites des céréales

3.1. Les principales espèces de champignons microscopiques parasites des céréales	24
3.1.1. Les espèces fongiques non toxigènes	24
3.1.1.1. Les espèces du genre <i>Microdochium</i>	24
3.1.1.2. Les espèces du genre <i>Puccinia</i>	25
3.1.1.3. L'espèce <i>Phaeosphaeria nodorum</i>	26
3.1.2. Les espèces fongiques toxigènes.....	27
3.1.2.1. Les espèces du genre <i>Fusarium</i>	27
3.1.2.2. Les espèces du genre <i>Alternaria</i>	30

3.1.2.3. Les espèces du genre <i>Claviceps</i>	32
3.2. Développement des espèces fongiques sur les céréales.....	34
3.2.1. Mécanisme de colonisation des céréales par les micromycètes	34
3.2.3. Processus de la croissance mycélienne sur les céréales.....	35
3.2.4. Facteurs environnementaux favorisant l'infestation fongique des céréales.....	35
3.3. Les principales pathologies fongiques des céréales.....	36
3.3.1. La fusariose.....	36
3.3.1.1. Symptômes	37
3.3.1.2 Le cycle de développement de la fusariose de l'épi	38
3.3.2. La septoriose	40
3.3.2.1. La tache septorienne	41
3.3.2.2. La Septoriose des feuilles et des épis	43
3.3.3. Les rouilles	43
3.3.3.1. La rouille brune	44
3.3.3.2. La rouille jaune	46
3.3.3.3. La rouille noire	48
3.4. Les mycotoxines	49
3.4.1. Définition	49
3.4.2. Principales mycotoxines produites par les micromycètes au champ	50
3.4.2.1. Les toxines de <i>Fusarium spp.</i>	50
3.4.2.2. Les toxines d' <i>Alternaria spp</i>	51
3.4.2.3. Les toxines de <i>Claviceps spp</i>	52

CHAPITRE 04 : Les moyens de lutte et réglementation

4.1. Moyens de lutte sur les cultures céréalières	53
4.1.1. Choix des hybrides	53
4.1.2. Rotation des cultures	53
4.1.3. Travail du sol	54
4.1.4. Application de fongicides	54
4.2. Prévention après la récolte	56

4.2.1. Utilisation des additifs et de conservateurs antifongiques sur les céréales	56
4.2.2. Utilisation des suppléments alimentaires pour neutraliser les mycotoxines	56
4.2.3. Aliments formulés pour améliorer la résistance des animaux aux effets des mycotoxines.....	57
4.2. Règlementation	57
4.2.1. Règlementation concernant les niveaux de mycotoxines dans les Céréales	57
4.2.2. Critères de sécurité alimentaire	58
4.2.3. Limites tolérées pour les mycotoxines dans les céréales et les denrées d'origine animale.....	58
Conclusion	61
Références bibliographique	63
Annexe	75

Introduction

La culture des céréales est considérée comme l'une des premières grandes découvertes ayant exercé une influence majeure sur l'avenir des sociétés humaines (**Boutemeur et Oukaci, 2019**). Les céréales sont l'un des apports nutritionnels majeurs à l'échelle mondiale, leurs grains ont un intérêt alimentaire pour l'homme et les animaux. Les variétés de céréales les plus consommées dans le monde sont : le blé dur (*Triticum aestivum*), le maïs (*Zea mays*), l'orge (*Hordeum vulgare*) (**Merabti, 2015**).

Au cours du cycle de croissance des céréales, elles sont exposées aux contraintes de l'environnement et soumises à une multitude de stress abiotiques et biotiques. Parmi les stress abiotiques qui limitent le rendement des céréales, il y a celui de nature climatique par exemple la température et l'humidité. Les céréales sont sujet à de nombreuses contraintes biotiques, notamment les maladies fongiques qui occasionnent des pertes de rendement et de qualité des grains, en conditions environnementales favorables pour le pathogène, et quand les variétés utilisées sont sensibles. En effet, les stress biotiques sont causés par les micro-organismes pathogènes soit eucaryotes (moisissures et levures) ou bien procaryotes (bactéries) (**Charouana et Brel, 2018**).

Les micromycètes peuvent causer diverses maladies fongiques qui varient d'une année à une autre et cela peut être dû à l'impact des facteurs de l'environnement (**Minati et Khalef, 2020**). Influençant ainsi, la croissance des céréales, ce qui engendre des problèmes de rendement et de qualité à travers le monde (**Attab, 2014**), comme la diminution de la qualité technologique (taux du gluten) et sanitaire (allergie, agents toxiques responsables de graves intoxications humaines et animales) réduisant la valeur nutritionnelle, modifiant l'aspect organoleptique et enfin provoquant des problèmes économiques dus aux coûts de détoxification des grains ou les rejets des produits contaminés (**Gacem, 2012**). Par ailleurs, dans des conditions propices de température, d'humidité et de pH les champignons microscopiques peuvent synthétiser des métabolites secondaires toxiques : les mycotoxines (**Bennett et Klich, 2003**).

L'objectif de ce mémoire vise à fournir une vision globale et actualisée des pathogènes fongiques des grandes cultures céréalières, des risques qu'ils représentent et des solutions intégrées pour les combattre à travers une étude bibliographique approfondie.

Le présent travail propose une étude bibliographique structurée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation générale des micromycètes et des conditions favorisant leur développement.
- Le deuxième chapitre présente les céréales les plus concernées par les infestations fongiques en se focalisant sur trois cultures majeures : le blé, le maïs, l'orge.
- Le troisième chapitre est le cœur du mémoire et présente les différentes espèces de champignons parasites des céréales, les pathologies qu'elles provoquent et les toxines qu'elles peuvent produire.
- Et enfin le quatrième chapitre expose les moyens de lutte disponibles pour prévenir et contrôler les pathologies fongiques.

CHAPITRE 01 : Les Micromycètes

1. Définition

Les micromycètes sont des Eucaryotes, thallophytes, non photosynthétiques, hétérotrophes et immobiles. Ce sont des champignons microscopiques filamenteux et multicellulaires dont certains sont des parasites des végétaux et des animaux, d'autres vivent en symbiose avec les végétaux, alors que d'autres sont des saprophytes, se développant sur des déchets organiques ou contaminent des produits alimentaires (**Meyer *et al.*, 2010, Leyral et Vierling, 2007 ; Guiraud, 1998**).

1.2 Classification des champignons microscopiques

Les micromycètes appartiennent au règne des Fungi ou des Eumycota. Ils ne constituent pas un groupe systématique homogène, mais se trouvent dans différentes familles de champignons microscopiques (**Guezlane-Tebibel *et al.*, 2012 ; El Khoury, 2017**).

La classification classique des champignons microscopes est basée sur leurs caractéristiques morphologiques et biologiques, ainsi que leurs modes de reproduction sexuée et asexuée, qui définissent les principales classes de champignons (**Herritage *et al.*, 1996**).

La classification actuelle des mycètes (**Tableau 1**) permet de distinguer six divisions ou embranchements (**Guezlane-Tebibel *et al.*, 2012**) et cinq classes :

-Les Ascomycètes ; les zygomycètes ; les Chytridiomycètes ; les Basidiomycètes et les Déutéromycètes ou *fungi imperfecti* (**Chabasse, 2009**).

Les Deuteromycota ne sont pas un véritable embranchement car il regroupe les mycètes anamorphes qui ont un mode de reproduction asexuée (**Blackwell *et al.*, 2012**). Les Fungi qui y sont classés trouvent peu à peu leur place chez les Ascomycota et les Basidiomycota (**Branger *et al.*, 2007**). Ainsi, la découverte de la reproduction sexuée, téléomorphe, d'un mycète permet de le reclasser dans l'embranchement adéquat en lui donnant un nouveau nom (**Guezlane-Tebibel *et al.*, 2012**).

Les champignons holomorphes ; possédant les deux formes sexuée et asexuée, ont deux noms de genre et d'espèce différents. La priorité est donnée à la forme sexuée, dite parfaite (**tableau 2**).

Tableau 1 : Les principaux embranchements des mycètes (Guezlane-Tebibel *et al.*, 2012)

Règne	Divisions
Fungi	Deutéromycota (Adelomycètes) : reproduction asexuée seule connue (Fungi imperfecti)
	Chytridiomycota : espèces aquatiques dont les zoospores portent un flagelle.
	Glomeromycota : reproduction asexuée ; mycélium siphonné.
	Zygomycota : reproduction asexuée ; espèce à spores non flagellées, mycélium siphonné.
	Ascomycota : reproduction sexuée ; hyphes septées.
	Basidiomycota : reproduction sexuée ; hyphes septées, spores portées par des bastides.

Tableau 2 : Champignons holomorphes de la classe des Ascomycètes

(Guezlane-Tebibel *et al.*, 2012).

Forme parfaite ou sexuée (Ascomycètes)	Forme imparfaite ou asexuée (Ascomycètes Imparfaites ou Deutéromycètes)
<i>Eurotium sp.</i>	<i>Aspergillus sp.</i>
<i>Talaromyces sp.</i>	<i>Penicillium sp.</i>
<i>Gibberella sp.</i>	<i>Fusarium sp.</i>

1.3. Les caractéristiques biologiques et morphologiques des champignons microscopiques

1.3.1. Caractéristiques morphologiques des champignons microscopiques

Les champignons filamenteux sont des Thallophytes. Autrement dit, il n'y a pas de tissu différencié réel. La structure de base est appelée hyphe (filament mycélien) dont la longueur est indéterminée et qui mesure de 2 à 15 μm de diamètre. L'ensemble des hyphes forment le mycélium ou thalle pluricellulaire. Cependant, le thalle est le résultat de la croissance de l'ensemble de filaments ramifiés (**Bourgeois et al., 1996; Héritage et al., 1996 ; Sylviane ,D et al., 2011**).

Le thalle se compose de filaments septés ou cloisonnés (chez les Septomycètes). Dans les parties jeunes du thalle les cloisons sont percées de pores permettant le passage du cytoplasme et des noyaux d'un article à un autre, alors que dans les parties âgées, les septa sont fermés isolant les parties en voie de dégénérescence des parties actives. Soit De filaments siphonnés (coenocytiques), non cloisonnés, sous forme de cellules allongées contenant plusieurs noyaux, c'est le cas des phycomycètes (**fig. 1**) (**Guezlane-Tebibel et al., 2012 ; Prescott et al., 2007**).

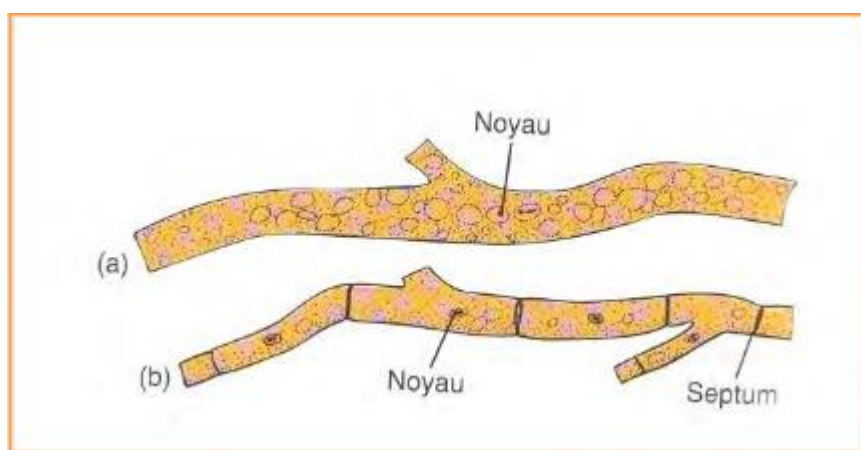


Figure 1 : Hyphe cénocytique (a) et hyphe septé (b) (**Prescott et al., 2007**)

Les cellules fongiques (hyphes) sont délimitées par la paroi et la membrane cytoplasmique qui renferment le cytoplasme où beigne les organites cellulaires tels que les ribosomes, les mitochondries, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, les vésicules, les lysosomes et un ou plusieurs noyaux (**Guezlane-Tebibel, 2008**).

Du point de vue structure, les parois cellulaires des champignons sont uniques et diffèrent totalement des cellules végétales. La paroi cellulaire est composée de glycoprotéines et de polysaccharides ; essentiellement de chitine et de glucanes. La paroi joue un rôle de protection. En effet, elle protège la cellule des changements de pression osmotique et maintient la forme de la cellule du stress environnemental (Bowman *et al.*, 2006).

Les parois fongiques sont constituées de couches distinctes disposées les unes sur les autres, et mesurant de 150 à 230 nm et qui sont composées de 10 à 20 % de protéines, de 80% de polysaccharides antigéniques, de chitine (polycondensat linéaire de β -D 1,4-N Acetyl-glucosamine), de cellulose (polycondensat linéaire de β -D 1,4- glucose), des mannanes ou des glucanes et parfois de la mélanine chez les champignons noirs (fig. 2).

Composé spécifique et majeur de la paroi des champignons, la chitine joue un rôle important dans la taxonomie. Cependant, chez certaines espèces, elle peut être partiellement ou totalement remplacée par la cellulose comme chez les Oomycètes qui en sont complètement dépourvus. La chitine est composée de microfibrilles entourées d'une couche protéique, et d'une couche de glycoprotéines enchâssées dans une matrice de glucanes et de mannanes, puis d'une couche externe de glucanes.

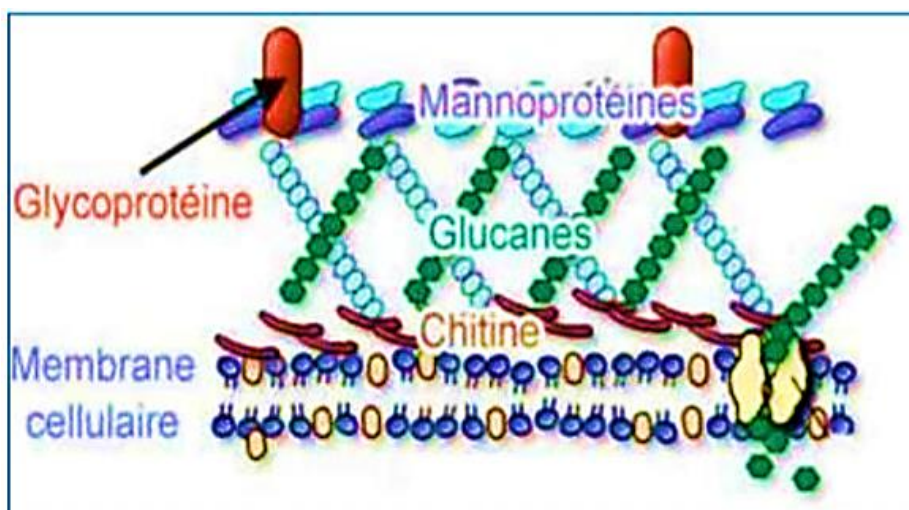


Figure 2 : La structure de la paroi fongique (New et Stevens, 2008)

Le développement des filaments s'effectue par l'apex, lieu des réactions du métabolisme primaire ; indispensable au développement des cellules fongiques. Les filaments engendrent des formations un peu plus différenciées et adaptées aux fonctions de reproduction et de dissémination des micromycètes appelées spores. Il s'agit d'un petit corps reproducteur pouvant résister aux conditions extrêmes et donner la forme végétative lorsque les conditions sont favorables (Leyral et Vierling, 2007 ; Bourgeois *et al.*, 1996).

1.3.2. Caractéristiques biologiques des champignons microscopiques

La reproduction des champignons microscopiques est assurée grâce à leurs spores, selon deux modes : sexué et asexué. Un micromycète se reproduit soit sous forme asexuée, ou sexuée ou les deux ensembles, il est alors, qualifié d'anamorphe, de téléomorphe ou d'holomorphe respectivement. Les moisissures qui ne produisent pas de spores, sont classées parmi les « Mycélia stérilia » (Guezlane -Tebibel *et al.*, 2012).

1.3.2.1. Reproduction asexuée :

C'est le mode de reproduction le plus fréquent dans la nature. Ce mode est assuré par la production de spores d'origine végétative issues de simples mitoses. Les spores de la reproduction asexuée sont produites soit :

- ✓ A l'extérieur d'un conidiophore qui est un organe spécialisé, sur lequel se forment les conidies ou conidiospores ;
- ✓ A l'intérieur d'un sac, le sporocyste ou le sporange qui se trouvent à l'extrémité d'un filament spécialisé appelé sporocystophore ou sporangiophore : les sporocystospores ou sporangiospores sont des spores endogènes (endospores) ;
- ✓ Par la transformation directe d'un filament donnant des arthrospores (Guezlane -Tebibel *et al.*, 2012 ; Leyral et Vierling, 2007).

1.3.2.2. Reproduction sexuée :

Elle est moins fréquente que la reproduction asexuée, la production de spores dans ce mode est due à la rencontre des filaments spécialisés, la conjugaison des noyaux et la réduction chromatique. Elle se déroule en trois phases :

- **Une plasmogamie** : phase où se produit la fusion protoplasmique qui met en présence deux noyaux à l'intérieur d'une même cellule ; le noyau haploïde d'une cellule donneuse (+) pénètre dans le cytoplasme d'une cellule receveuse (-) ;

- **Une caryogamie** : durant cette phase, les noyaux (+) et (-) fusionnent pour former le noyau diploïde d'un zygote ;
- **Une réduction chromatique ou méiose** : dans cette phase, le noyau diploïde donne naissance à des noyaux haploïdes (spores sexuées). Les noyaux issus de la méiose sont parfois recombinaisonnés. Quatre types de spores sexuées peuvent être produits :
Les zygotes ou œufs ; les zygosporées ; les ascospores ; les basidiospores ((Tortora, 2017 ; Guezlane-Tebibel, 2012 ; Leyral et Vierling, 2007).

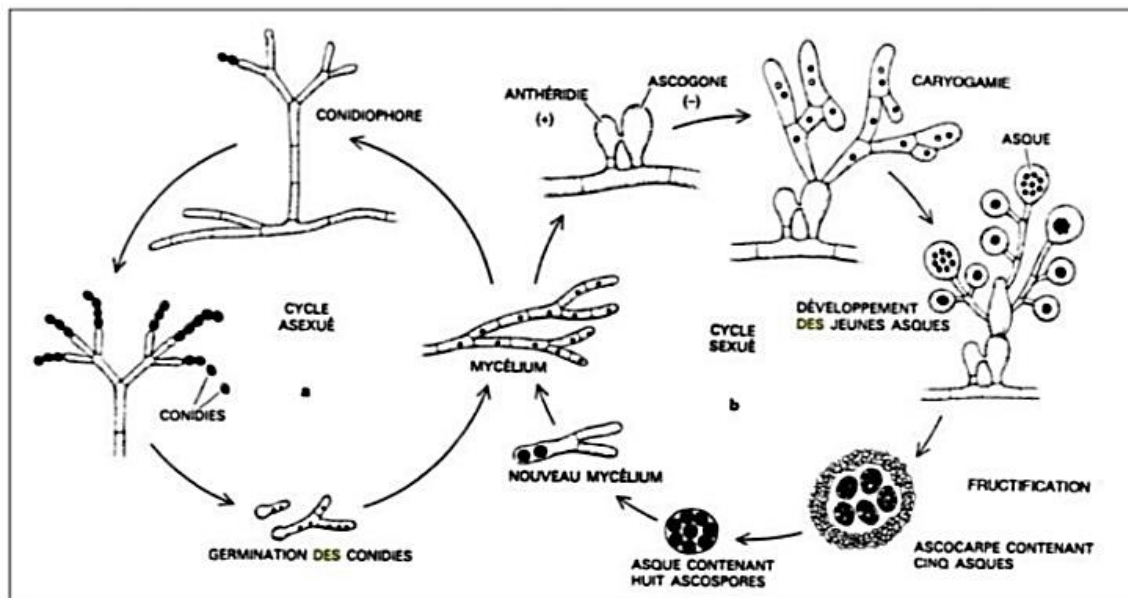


Figure 3 : La reproduction des champignons microscopiques (1)

1.4. Cycle de vie des champignons microscopiques parasites

Le cycle de vie des champignons pathogènes des plantes suit généralement un enchaînement d'étapes bien définies, bien que des variations puissent exister selon l'espèce concernée.

- **Inoculation** : Le processus débute par la dissémination des spores comme les conidies, les ascospores ou les basidiospores dans le milieu extérieur. Ces spores sont transportées jusqu'à la plante hôte par différents vecteurs naturels tels que le vent, la pluie ou encore les insectes.

- **Germination** : Lorsque la spore atterrit sur une surface végétale humide, elle entre en phase de germination. Elle développe alors un tube germinatif qui lui permet de traverser la surface externe de la plante et de commencer l'infestation.
- **Pénétration** : Pour pénétrer dans les tissus internes de la plante, le champignon emprunte généralement des voies naturelles comme les stomates ou provoque des brèches dans la cuticule. Certaines espèces élaborent même des structures spécifiques telles que les appressoria pour mieux s'introduire dans les cellules végétales.
- **Colonisation** : Une fois à l'intérieur, le champignon se multiplie et se propage dans les tissus de la plante. Durant cette phase, il sécrète souvent des enzymes ou des toxines qui décomposent les parois cellulaires et facilitent l'absorption des nutriments.
- **Sporulation** : Lorsque les conditions environnementales deviennent favorables, le champignon entre en phase de reproduction. Il forme alors de nouvelles spores prêtes à être dispersées, assurant la contamination d'autres plantes et la poursuite du cycle parasitaire.
- **Survie** : En période défavorable (saison sèche, absence d'hôte, etc.), les champignons adoptent des formes de résistance, comme les sclérotés ou les chlamydospores. Ces structures leur permettent de persister dans le sol ou les débris végétaux jusqu'à ce que les conditions redeviennent propices à une nouvelle infestation (**Moore et al., 2011 ; Schumann et D'Arcy, 2010 ; Agrios, 2005 ; Waller et al., 2002 ; Mendgen et Hahn, 2002 ; Lucas, 1998**).

1.5. Conditions de croissance des champignons microscopiques

Le développement des champignons filamenteux nécessite plusieurs facteurs :

1.5.1. Facteurs nutritionnels :

Les micromycètes sont des chimio-hétérotrophes qui se nourrissent par absorption ; ce type de nutrition consiste à absorber les petites molécules organiques du milieu, et à les digérer à l'extérieur de leur « corps » en les hydrolysant à l'aide de leurs puissantes enzymes. La plupart sont peu exigeant en éléments nutritifs essentiels pour leur développement. Dépourvus de chlorophylle, les champignons microscopiques ne peuvent pas faire de photosynthèse (**Tortora et al., 2011 ; Alix et al., 2002**).

1.5.1.1. La source de carbone ou d'énergie :

Les champignons microscopiques exigent des composés organiques comme source d'énergie. Dans l'environnement, des polymères complexes tels que la cellulose, la lignine et les composés pectiques peuvent être digérés grâce aux enzymes hydrolytiques excrétées par de nombreuses espèces de micromycètes. Une fois hydrolysés, ces polymères deviennent solubles et peuvent diffuser à travers la paroi cellulaire (**Nicklin *et al.*, 2000 ; Guezlane-Tebibel *et al.*, 2016**).

1.5.1.2. La Source d'azote :

La majorité des champignons assimilent les deux types d'azote : ammoniacal et nitrique. Cependant, ils ne peuvent pas fixer l'azote atmosphérique. Les sources d'azote organique peuvent être utilisées sous formes d'acides aminés (acide glutamique, acide aspartique et alanine) qui sont facilement assimilables et directement absorbés à travers la barrière membranaire, mais les peptides et les protéines doivent être d'abord hydrolysés par des protéases fongiques en acides aminés absorbables. Les acides aminés aromatiques sont de mauvaises sources d'azote pour la croissance (**Nicklin *et al.*, 2000 ; Davet et Rouxel, 1997 ; Botton *et al.*, 1990**).

1.5.1.3. Les éléments minéraux :

En plus, du carbone et de l'azote, les champignons ont besoin des éléments minéraux comme le phosphore, le potassium, le magnésium et le soufre et des oligoéléments (Cu, Mn, Mo, Fe, Zn) qui sont essentiels pour leur croissance. Ces éléments sous forme de traces sont indispensables aux espèces fongiques pour la production des cytochromes, des pigments et des acides organiques (**Davet et Rouxel, 1997 ; Boiron, 1996**).

1.5.1.4. Les Besoins en vitamines et en facteurs de croissance :

Les espèces fongiques ont besoin de vitamines à de très faibles concentrations (10^{-5} à 10^{-12} Molaire) pour leur croissance, notamment, la thiamine et la biotine qui sont indispensables car elles interviennent comme co-enzymes dans les réactions de carboxylations (**Boiron, 1996**).

Les facteurs de croissance sont des composées nécessaires à la croissance de ces micro-organismes tels que les stérols, les acides gras, les purines et les pyrimidines, en quantité relativement importante. Les stérols jouent un rôle majeur dans la composition des membranes fongiques et leur perméabilité (**Boiron, 1996**).

1.5.2. Facteurs environnementaux :**1.5.2.1. L'activité de l'eau ou l' A_w :**

L'activité de l'eau du substrat, notée A_w , est un paramètre qui permet de quantifier la quantité d'eau disponible nécessaire à la croissance fongique. L' A_w varie entre 0 (toute l'eau est retenue) et 1 (eau pure), en fonction de l'hygrométrie et dépend des caractéristiques chimiques et physiques du substrat. Elle correspond à la relation entre l'humidité des aliments et la capacité des micro-organismes à se développer sur eux. Ainsi, au-dessous d'une A_w de 0,65, le développement fongique n'est plus possible (**John et al., 2009 ; Tabuc, 2007 ; Reboux, 2006**).

Les micromycètes sont classées en trois groupes en fonction de leur A_w optimale de développement :

-Les xérophiles : se développent sur des substrats ayant des A_w basses comprises entre 0,65 et 0,8. C'est l'exemple du genre *Aspergillus* ;

-Les xérotolérants : se développent sur des substrats dont l'activité en eau est comprise entre 0,8 et 0,90. Ce groupe comprend les *Penicillium* ;

-Les hygrophiles : dont les conditions optimales de développement sont représentées par une humidité importante (A_w supérieure à 0,9) Ce groupe comprend les *Fusarium*, les mucorales et *Stachybotrys*, saprophytes ou pathogènes (**Park et al., 2007**).

L'humidité a donc, un grand effet sur leur développement et sur la germination des spores (**Bourgeois, 1989**).

1.5.2.2. La température :

La température joue un rôle crucial dans la croissance mycélienne, elle intervient à la sporulation et à la germination des spores (**Bourgeois, 1989**). Chaque espèce a un intervalle de température optimale pour la germination des spores et la croissance du mycélium, ex. : *Fusarium oxysporum* se développe de manière optimale entre 25 ° C et 28 ° C (**Erwin et Ribbeiro, 1996**). La végétation maximale des micromycètes apparaît entre 20°C et 30°C, mais les mycètes tolèrent, généralement, une température de 5°C à 40°C. Il y a des espèces psychrophiles qui tolèrent des températures basses voire même négatives ; jusqu'à - 10°C comme *Fusarium tricinctum*. Par ailleurs, certaines espèces peuvent croître à des températures supérieures à 50°C (**Leyral et Vierling, 2007**).

1.5.2.3. Le pH :

Le pH est un facteur important pour le développement des moisissures, Alors les champignons filamenteux peuvent se développer à un pH de 4 - 8 (**Tahani et Elamrani, 2008**). Il existe des pH pour lesquels la croissance fongique est optimale. Généralement ces pH sont entre 5 et 6 (**Tabuc, 2007**). Les micromycètes se développent mieux en milieu légèrement acide et tolèrent même des pH très bas. Mais il y a des espèces qui croissent à pH de 2 à 5 (**Abdel massih, 2007**).

1.5.2.4. La Lumière :

La lumière influence la croissance des champignons microscopiques par la destruction photochimique des constituants du milieu, ou suite à son action directe sur le métabolisme fongique en stimulant la biosynthèse de divers pigments (**Boiron, 1996**). Elle agit également sur la sporulation de certaines espèces comme *Alternaria solani* qui produit plus de spores dans des conditions d'éclairage alterné (**Rotem, 1994 ; Botton et al., 1990**).

1.5.2.5. L'oxygène (Aération) :

Les champignons microscopiques sont des micro-organismes aérobies qui ont besoin d'oxygène pour une croissance normale. Néanmoins, de nombreuses espèces sont capables de fermenter les glucides. La plupart peuvent se développer en microaérobie tolérant une teneur en oxygène est dix fois plus faible que celle de l'atmosphère. Seulement quelques espèces sont anaérobies strictes et colonisent des biotopes spécifiques ((**Tabuc, 2007 ; Abdel Massih, 2007 ; Botton et al., 1990**).

Chapitre 2 : Les principales céréales

2.1. Description botanique des céréales

Le terme céréale est un dérivé du mot latin *cerealis* signifiant « grain » qui est en botanique un type de fruit appelé caryopse, les céréales regroupent des plantes de la famille des Poacées. Les cinq céréales les plus cultivées dans le monde sont : le blé, le maïs, l'orge, le riz et le sorgho (Sawar *et al.*, 2013).

2.1.1 Le blé :

Le blé est une céréale à paille, cultivée depuis environ 10 000 ans au Moyen Orient. Il est surtout produit dans les pays de l'hémisphère nord et il représente la seconde production mondiale de céréales après le maïs (Awika, 2011). Le blé est cultivé principalement dans les climats tempérés.

2.1.1.1. La taxonomie du blé :

Le blé est un terme générique qui désigne plusieurs variétés appartenant au genre *Triticum*.

D'après Cronquist (1981), le blé est classé comme suit (Tableau 3) :

Tableau 3 : Classification du blé

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Cypéales
Famille	Poacée
Genre	<i>Triticum</i> L.1753

En production céréalière et en alimentation humaine, le blé tendre (*Triticum aestivum*) (fig.4) est le plus important du genre *Triticum* suivie par le blé dur (*Triticum turgidum*) (fig. 5)



Figure 4 : Le blé tendre (Abecassis, 2015)



Figure 5 : Le blé dur (Abecassis, 2015)

2.1.1.2. Les caractéristiques morphologiques :

Le blé est une graminée annuelle, monocotylédone, qui possède un système racinaire fasciculé, une tige creuse appelée chaume, des feuilles alternes allongées, et une inflorescence en épi terminal. Le grain est un fruit sec indéhiscent dit caryopse qui se compose d'une graine et de téguments. Il est riche en amidon, en protéine (gluten), et en micronutriments (**Belaoui, 2010**).

Le développement du blé (fig.5) commence par la germination de la graine, la formation d'une racine et d'une feuille. En effet, l'embryon de la graine qui est l'ébauche de la future plante contient des feuilles rudimentaires appelées cotylédons. La jeune plantule va croître pour atteindre le stade « 3 feuilles », qui est un stade repère dans le développement. L'inflorescence est en épi terminal qui se compose de fleurs parfaites (**Belaoui, 2010**).

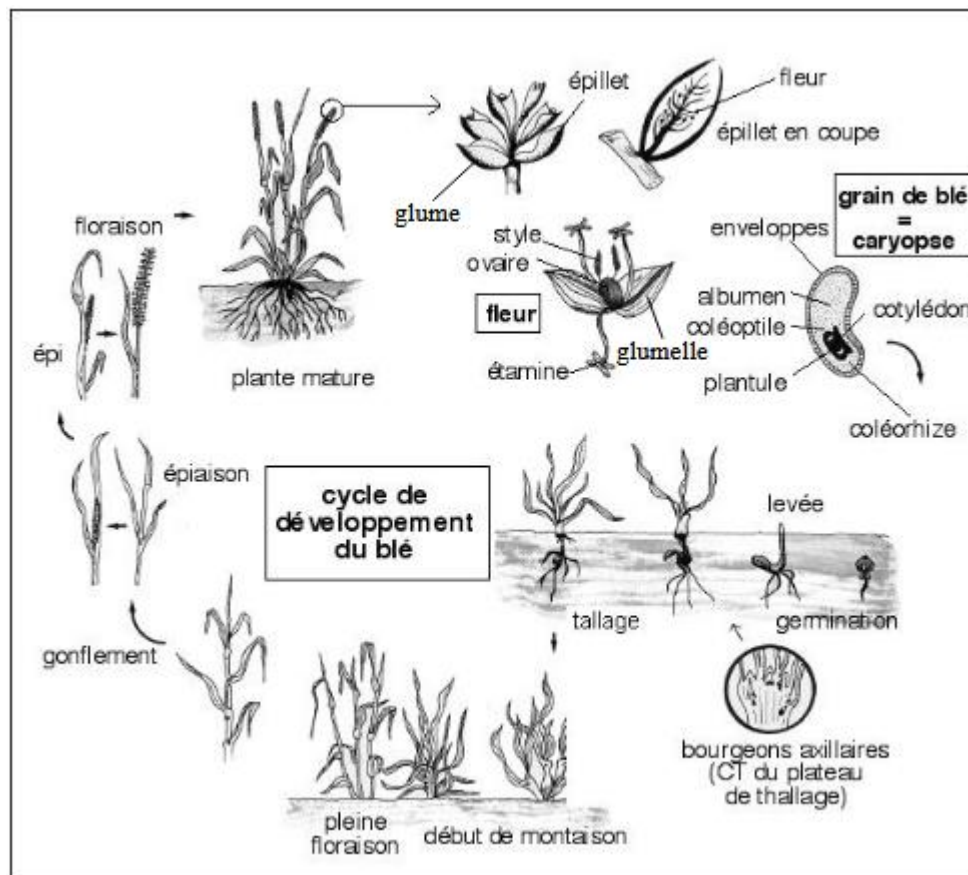


Figure 6 : Cycle de développement du blé tendre (2)

2.1.2 L'orge :

L'orge est une céréale à paille cultivée depuis l'Antiquité. Elle est rustique et adaptée au climat du bassin méditerranéen et aux climats frais et secs. Elle est utilisée pour l'alimentation humaine et animale.

2.1.2.1. Taxonomie de l'orge :

L'orge appartient au genre *Hordeum* qui comprend 31 espèces. Il est composé d'espèces vivaces et annuelles et ayant une distribution Eurasiennne allant de la Méditerranée à l'Ouest jusqu'à l'Asie centrale. Seule l'espèce *Hordeum vulgare* L est la plus cultivée, c'est une espèce diploïde qui est l'une des premières cultures les plus anciennement cultivée (**Rasmusson, 1992**).

Les espèces d'orge sont classées, selon leur tolérance au froid (sensible au gel ou résistant au froid environ jusqu'à -15°), en trois types :

- **Les orges d'hiver** s'implantent en automne et leur cycle de développement varie de 240 à 265 jours.
- **Les orges de printemps** s'implantent au printemps et leur cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours). Ces orges n'ont aucun besoin de vernalisation pour assurer leur montaison.
- **Les orges alternatives** qui sont intermédiaires au plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps (**Soltner, 2005**).

Linné (1755) in Grillot (1959), classe les espèces selon la fertilité des épillets, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes en deux types :

- ❖ **L'orge à deux rangs ou l'orge distique** : il a un épi aplati composé de 2 rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de quatre épillets stériles. Dans ce type existent surtout des variétés de printemps.
- ❖ **L'orge à 6 rangs ou orge exastique** : encore appelé écourgeon, il a une section rectangulaire, sur chaque axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. Dans ce type, il n'existe pratiquement que des variétés d'hiver.

D'après Feillet (2000), l'orge cultivée appartient à la classification suivante (Tableau 4) :

Tableau 4 : Classification de l'espèce *Hordeum vulgare* L

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Genre	Hordeum
Espèce	<i>Hordeum vulgare</i> L.

2.1.2.2. Les caractéristiques morphologiques :

L'orge est une graminée, monocotylédone, caractérisée par une inflorescence en épi composée de trois épillets par nœud. Du point de vue morphologique, l'orge a les mêmes caractéristiques que le blé mais il y a quelques différences. La forme du grain varie en fonction des espèces, mais aussi au sein d'une même espèce. Elle varie également en fonction de la variété considérée. Le grain d'orge est le fruit appelé caryopse qui se caractérise par la présence d'un sillon. Lors de la dessiccation et après le battage, le grain d'orge se sépare de la tige en restant inséré entre ses enveloppes (glumes et glumelles) on parle de grain vêtu (**Boulal et al., 2007**). Le système racinaire de l'orge est plus superficielle que celui du blé et plus de 60% du poids des racines, sont localisés dans les 25cm de profondeur du sol (**Simon et al., 1989**). Les racines primaires sont fonctionnelles dès la germination et sont au nombre de six, rarement sept (**Benlaribi et al., 1990 ; Hazmoune, 2006**) (fig. 3). L'orge (*H vulgare*) germe entre 5 et 37,7°C, sa température optimale est de 28,7°C (**Laberche, 2010**).



Figure 7 : L'orge (3)

2.1.3 Le maïs :

Le maïs a été cultivé il y a environ 10 000 ans au sud du Mexique en Amérique centrale. Il est largement cultivé comme céréales pour ses grains riches en amidon, mais également comme plante fourragère (**Baubricourt et Hedin, 1988**). C'est la première production mondiale de céréales (**Awika, 2011**).

2.1.3.1. La taxonomie du maïs :

Selon Doebley (1990), le maïs appartient à la classification suivante :

Tableau 5 : Classification de l'espèce *Zea Mays*

Règne	Végétal
Sous –Règne	Tracheobionta
Division	Magnolio
Classe	Liliopsidées
Sous classe	Commeliniadae
Ordre	Cypéales
Famille	Poacées
Sous-famille	Panicoidées
Genre	<i>Zea</i>
Espèce	<i>Zea mays</i>



Figure 8 : Le maïs (Delvaux, 2002)

2.1.3.2. Les caractéristiques morphologiques :

C'est une plante herbacée, annuelle, monoïque, à grand développement végétatif mesurant 1 à 3 mètre de hauteur, ayant une tige souvent unique. Ses graines sont portées par une inflorescence (l'épi) protégée par des spathes ce qui empêche leur dissémination. C'est une caractéristique qui le distingue des autres céréales (**Gouvernement, 2008**).

Le système racinaire est fasciculé et adventif, alors que la tige est dressée, ronde ayant un diamètre de 3 à 6 cm et est remplie d'une moelle sucrée. Elle est composée de nœuds et d'entre-nœuds, courts à la base et allongés au sommet (**Fare, 2004**).

Les feuilles sont réparties de façon alterne et opposée. Les fleurs sont des épillets regroupés sur des inflorescences mâles, positionnées sur la panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés à l'aisselle des feuilles. Ce regroupement permet au maïs d'être auto-fertile (**Hubert, 1978**).

Les épis apparaissent à l'aisselle des feuilles médianes. Un total de 4 à 5 épis peuvent se former, dont 1 généralement atteint le stade finale et mesure de 10 à 30 cm de long, enveloppé dans 5 à 20 spathes (**Fare, 2004**) (fig. 5).

2.2 Facteurs de vulnérabilité des céréales aux infestations fongiques

Les infestations fongiques représentent une menace majeure pour la sécurité alimentaire mondiale, affectant la qualité, la sécurité sanitaire et la productivité des céréales.

Pour qu'une infestation fongique d'une plante se développe, trois composants sont nécessaires : d'une part, la plante et le pathogène doivent se mettre en contact et interagir, et d'autre part, les conditions de l'environnement doivent être favorables. Par ailleurs chacune de ces trois composantes peut varier considérablement aboutissant à différents degrés de sévérité de la maladie pour une plante et à l'intérieur d'une population de plantes.

-Les facteurs liés aux plantes sont :

- La sensibilité : certaines variétés de céréales sont plus sensibles à certaines maladies fongiques.
- Blessures mécanique : causées par des insectes, la grêle ou des outils agricoles, elles facilitent la pénétration des spores fongiques dans les tissus des végétaux.

-Le pathogène peut être plus au moins virulent, actif, dormant,...

-Les conditions environnementales : peuvent affecter plus au moins la croissance, la sensibilité, et la résistance de la plante hôte, ainsi que la croissance, la multiplication, et le degré de la virulence et la dispersion du pathogène.

- L'humidité : une humidité relative supérieure à 70% favorise fortement la germination des spores fongiques.
- La température : la plupart des champignons prolifèrent entre 15°C et 37°C.
- Précipitations et rosée : les périodes de pluie prolongée ou une forte rosée pendant la floraison et avant la récolte augmentent l'humidité des épis favorisant les contaminations.

L'interaction plante hôte, pathogène et environnement est généralement considéré comme formant un triangle appelé « le triangle de la maladie » (**Bouzid, 2008**).

2.2.3 Importance économique et alimentaire des céréales :

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et économique. Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement (**Djermou, 2009**).

2.2.3.1 Importance économique :

Dans le monde

La culture des céréales est considérée comme l'une des premières grandes découvertes ayant exercé une influence majeure sur l'avenir des sociétés humaines pendant plusieurs siècles. Aujourd'hui, les céréales constituent la base de l'alimentation, en raison de la facilité des modes de production, de récolte, de stockage et de transport, de la diversité des aires géographiques de production, de leur richesse en constituants d'intérêt nutritionnel et de la diversité des modes de préparation et de consommation (**Sawar et al., 2013**). .

Le blé vient en tête des productions céréalières et représente environ un tiers de la production mondiale totale. L'orge est classé quatrième après le blé, le riz et le maïs, il est produit à 60% en Europe. Les pays exportateurs présentent une surproduction céréalière et tendent à réduire leur excédent. Par contre, les pays d'Afrique du nord sont dépendant et importent les céréales, leurs besoins s'accroissent sans cesse en regard de la progression de la population (**Feliachi, 2002**).

Les données récentes sur les campagnes de commercialisation 2024 - 2025 et 2025 - 2026 mettent en évidence l'importance économique majeure des céréales à l'échelle mondiale. En 2024-2025, malgré une légère baisse de la production globale (2 853 millions de tonnes), les échanges internationaux ont représenté 478 millions de tonnes. La hausse de la demande et la baisse des échanges internationaux (-6, 9%) ont entraîné une diminution des stocks mondiaux, affectant les équilibres du commerce international. De 2025 à 2026, la production record prévue à 2 910 millions de tonnes devrait permettre un redressement partiel des stocks et une reprise des échanges (+1,9%), notamment grâce à une hausse des exportations de blé. Ces fluctuations traduisent la sensibilité des marchés céréaliers aux aléas de production, de demande et de commerce, soulignant leur rôle stratégique dans l'économie mondiale, tant pour les pays exportateurs que les pays importateurs fortement dépendants de ces flux (**FAO, 2025**).

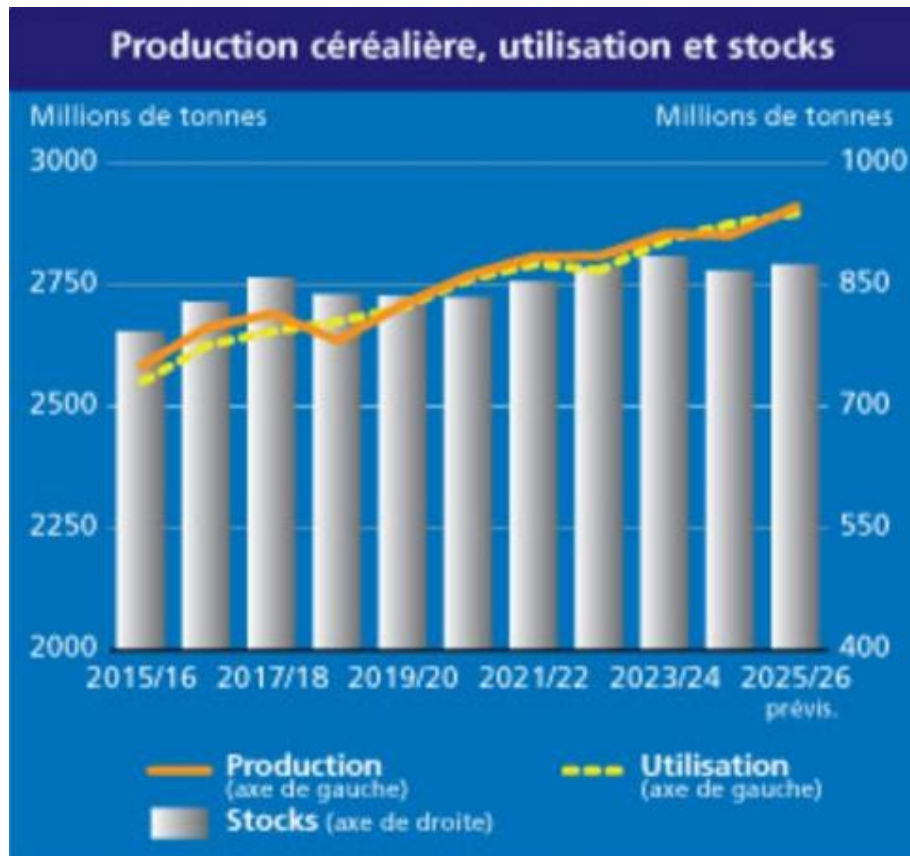


Figure 9 : La production des céréales dans le monde (FAO., 2025)

✚ En Algérie

En Algérie, la filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole, jachère comprise, occupant environ 80% de la superficie agricole (**Djermoun, 2009**). Elle constitue une des bases importantes de l'agro-alimentaire en Algérie.

La production des céréales en Algérie est conduite en extensif et elle est à caractère essentiellement pluvial. La demande est couverte, en partie par la production nationale qui oscille, selon les campagnes entre 0,9 et 4,9 millions de tonnes (**Anonyme, 2016**).

Face à une demande locale croissante, la filière céréalière dépendante des conditions climatiques et qui se caractérise par un faible niveau d'utilisation du progrès technique, ne parvient pas à répondre aux besoins de la population locale. L'Algérie se trouve dans l'obligation d'avoir recours aux achats de céréales notamment de blé tendre sur le marché international (**Ammar, 2014**). En effet, Les produits céréaliers représentent plus de 40 % de la valeur des importations des produits alimentaires, occupant ainsi le premier rang devant les produits laitiers (**Chehat, 2007**) et l'Algérie est le cinquième

pays importateur de blé au monde, notamment de blé tendre, et qui importe globalement 5% de la production mondiale de céréales.

2.2.3.1. Importance alimentaire :

Alimentation humaine :

Selon **Sawar et al. (2013)**, les céréales fournissent plus de nourriture pour la consommation humaine que toute autre culture, et sont utilisés sous diverses formes : en grains, farine, semoule etc... Les céréales et leurs dérivés occupent une place prépondérante dans l'alimentation humaine (semoule et farine) comme dans l'alimentation animale (sons de blé, orge, farines basses) et ce, en raison de leur rendement énergétique très élevé et leur richesse en protéines diversifiées.

La consommation des céréales notamment le blé demeure une base essentielle de l'alimentation, l'Algérie affiche une consommation élevée de blé avec une moyenne de consommation céréalière de 8 millions de tonnes par an (**Ammar, 2014**).

Les céréales occupant une place prépondérante dans les habitudes alimentaires et le blé étant le plus consommé par les algériens. Le blé dur représente la base alimentaire de la plupart des plats algériens. Néanmoins, un changement dans la consommation céréalière, marquée par une tendance à consommer de plus en plus de blé tendre, avec une population qui adopte de plus en plus de nouvelles habitudes alimentaires (pizza, sandwich,...) et un recul sans précédent de la consommation de blé dur, sont observés depuis l'an 2000 (**Banque mondiale, FAO, 2012**). La consommation annuelle par habitant de céréales, est importante, elle est de 230 kg/an par habitant (**Ammar, 2014**).

Alimentation animale :

Les céréales constituent le principal composant des aliments concentrés pour le bétail, une forte proportion de la production mondiale de céréales est donc destinée pour nourrir les animaux d'élevage, près de 40% des céréales servent à nourrir le bétail (**Dubief, 2020**). La consommation animale des céréales est assurée essentiellement par l'orge et le maïs utilisés pour la fabrication des aliments de bétail et de ses dérivés (**Boussard et Chabane 2011**). Le maïs est très utilisé pour l'alimentation animale, notamment dans les pays occidentaux (**Cruz et al., 1992**).

Chapitre 3 : Les espèces fongiques parasites des céréales

3.1. Les principales espèces de micromycètes parasites des céréales

3.1.1. Les espèces fongiques non toxigènes

3.1.1.1. Les espèces du genre *Microdochium*

✓ *Microdochium nivale* :

C'est l'espèce qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études. Il s'agit de l'agent pathogène responsable de la pourriture des graines, de la base des tiges et de la fusariose des épis, notamment du blé et de l'orge. Contrairement à certaines espèces du genre *Fusarium*, *M. nivale* n'élabore pas de mycotoxines identifiées dans les plantes céréalières, ce qui lui confère le statut d'un pathogène non toxigène.

Cette espèce pousse principalement lors que le climat est frais et humides, particulièrement à la fin de l'hiver et au début du printemps. Les infestations ont généralement pour point de départ les semences, avant de se diffuser vers les racines et les tissus sous-jacents, ce qui diminue le taux de germination et affaiblit les plantules naissantes. Le champignon est également capable de persister dans les résidus végétaux et le sol, servant ainsi de source d'inoculum pour les cultures futures (Waalwijk et van der Lee, 2005).



Figure 11 : Aspect macroscopique et microscopique *Microdochium nivale* (4)

3.1.1.2. Les espèces du genre *Puccinia*

Les espèces du genre *Puccinia* appartiennent à la division des Basidiomycètes, à la classe des Hémibasidiomycètes, à l'ordre des Uridinales et à la famille des Pucciniaceae (Meyer *et al.*, 2010).

Parmi les espèces les plus courantes figurent :

- *Puccinia graminis* agent de la rouille noire,
- *Puccinia striiformis* agent de la rouille jaune,
- *Puccinia recondita* agent de la rouille brune.

Les *Puccinia* sont à l'origine des maladies appelées rouille qui affectent les céréales. Ces parasites obligatoires, qui infestent les tissus aériens des céréales telles que le blé, l'orge et d'autres graminées, traversent souvent des cycles de vie complexes. Ces derniers impliquent une alternance entre hôtes (cycle hétéroïque) et la production de divers types de spores (urédospores, téléutospores, basidiospores, etc.). Ces espèces nuisent sévèrement à la photosynthèse et diminuent le rendement des cultures en engendrant des dommages chlorotiques, des taches brunâtres ou orangées, ainsi qu'une chute anticipée des feuilles. Bien qu'elles ne génèrent pas de mycotoxines, leur pouvoir pathogène et leur dissémination aisée par le vent leur attribuent une importance économique considérable (Cummins et Hiratsuka, 2003).



Figure 12 : Aspect macroscopique et microscopique de *Puccinia striiformis* (5)

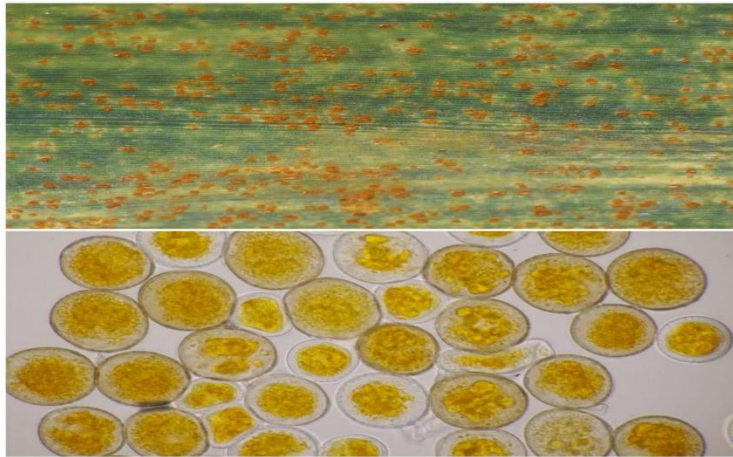


Figure 13 : Aspect macroscopique et microscopique de *Puccinia recondita* (6)

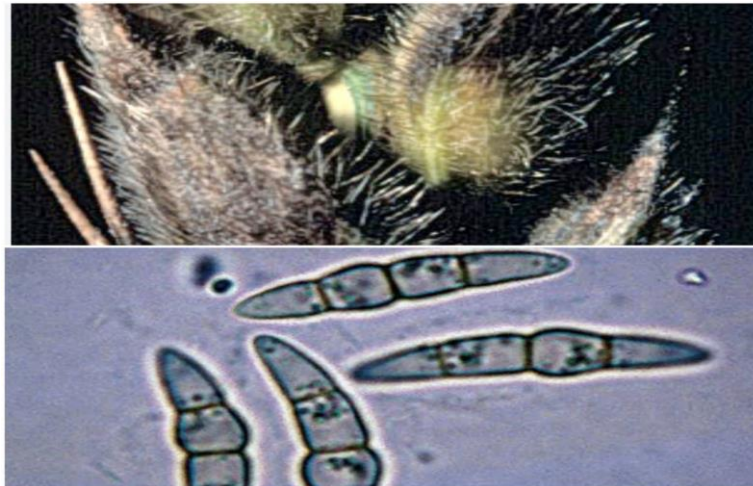


Figure 14 : Aspect macroscopique et microscopique de *Puccinia graminis* (7)

3.1.1.3. L'espèce *Phaeosphaeria nodorum*

Phaeosphaeria nodorum, également connue sous le nom de *Stagonospora nodorum* est un champignon pathogène, nécrotrophe qui cible principalement le blé tendre (*Triticum aestivum*). Il est à l'origine d'une maladie appelée « tache foliaire de la septicose » ou « pourriture de l'épi ».

Ce champignon s'attaque aux feuilles, aux gaines foliaires, aux tiges et aux glumes, provoquant des dommages nécrotiques de couleur brune qui présentent des contours jaunâtres distinctifs. Des conditions d'humidité et de températures modérées, caractéristiques du printemps et de l'automne, facilitent sa propagation. *P. nodorum* se dissémine grâce à des pycnidiospores (spores asexuées) et des ascospores (spores sexuées), qui sont dispersées par les projections d'eau de pluie ou par le vent. Même si *P. nodorum* ne produit pas de toxines nocives pour l'homme ou les animaux, il a un impact économique majeur en diminuant la productivité des cultures et la qualité des céréales (Solomon *et al.*, 2006).



Figure 15 : Aspect macroscopique de *Phaeosphaeria nodorum* (8)

3.1.2. Les espèces fongiques toxinogènes

3.1.2.1. Les espèces du genre *Fusarium*

Le nom *Fusarium*, vient du latin *fuscus* qui signifie fuseau, en référence à la forme des spores. Le genre *Fusarium* comprend entre 50 et 100 espèces anamorphes qui appartiennent aux Deutéromycètes. Les formes sexuées (*Gibberella*, *Nectria*) sont rattachées à l'embranchement des Ascomycètes. Elles sont cosmopolites et leur température optimale de croissance est située entre 22° et 37°C (Brown et Proctor, 2013)

Plusieurs espèces de ce genre causent de graves maladies telles que la fusariose de l'épi (Fusarium Head Blight) qui affectent le blé et la pourriture des épis de maïs. Les espèces en cause sont les suivantes : *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* et *F. verticillioides* ont la capacité de parasiter les céréales au champ. Un taux d'humidité élevé pendant la période de floraison favorise leur cycle (Agrios, 2005 ; Buerstmayr *et al.*, 2009 ; Munkvold, 2003).

Critères d'identification macroscopiques et microscopiques :

Les espèces du genre *Fusarium* ont un développement rapide donnant des colonies planes, d'aspect cotonneux, voire floconneux, et de couleurs claires (crème, blanche, saumon, violette, brune, jaune) (Fig15).

Leur principal caractère microscopique d'identification est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées. La diagnose des espèces repose principalement sur la forme de leurs conidies. Les conidiophores, parfois très ramifiés, forment sur le thalle des coussinets appelés sporodochies et portent des grappes de spores (Chermette et Bussieras, 1993). Différents types de spores peuvent être produits (Fig15):

- **Les macroconidies** : regroupées en grappe le plus souvent, ce sont des conidies de grande taille, pluricellulaires, cloisonnées et fusiformes. La cellule basale est pédicellée et la cellule apicale forme un crochet, qui favorise la dissémination.
- **Les microconidies** : ces conidies sont de petite taille et peuvent être unicellulaires ou bicellulaires, isolées ou groupées. Elles peuvent être fusiformes, ovoïdes ou cylindriques.

- **Les chlamydospores** : ce sont des spores résistantes qui peuvent être terminales ou intercalaires. Cependant, elles ne sont pas produites par toutes les espèces de *Fusarium*. Elles peuvent résister des années dans le sol, rendant ainsi la conservation du mycélium dans le sol et sa dissémination facile, ce qui permet la survie de l'espèce. (Leslie, et Summerell, 2006 ; Roquebert, 1998).

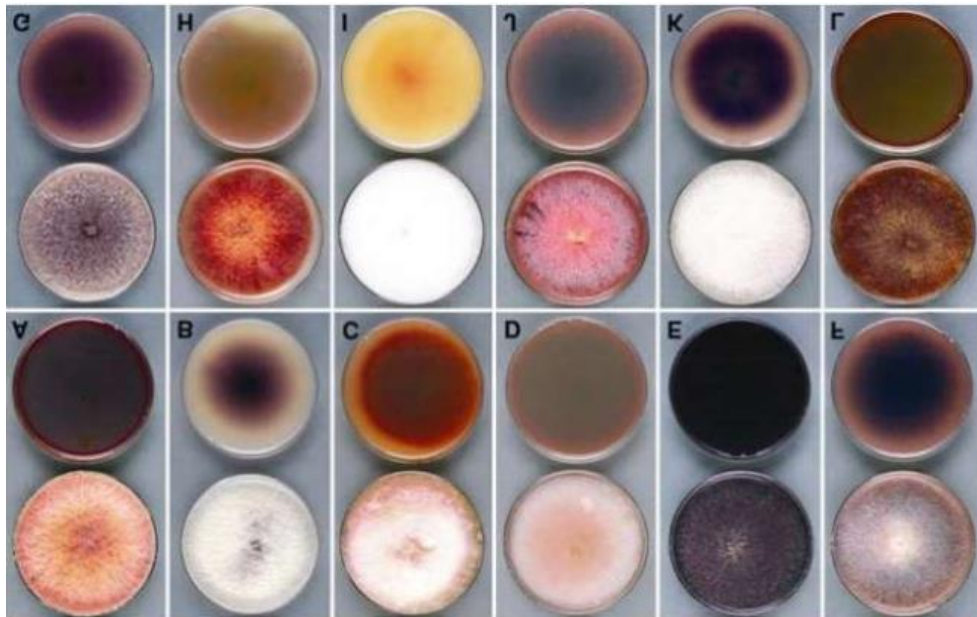


Figure 16 : Aspect des colonies des espèces de *Fusarium* sur milieu P.D.A (Summerell *et al.*, 2003).

A, *F. poae*. **B**, *F. oxysporum*. **C**, *F. acuminatum*. **D**, *F. nelsonii*. **E**, *F. subglutinans*. **F**, *F. nygamai*. **G**, *F. pseudonygamai*. **H**, *F. lateritium*. **I**, *F. thapsinum*. **J**, *F. decemcellulare*. **K**, *F. verticillioides*. **L**, *F. culmorum*.



Figure 17 : Les macroconidies de *Fusarium graminearum* (9)

Importance :

Le genre *Fusarium* a un impact économique important car il renferme un grand nombre d'espèces phytopathogènes qui parasitent de nombreuses céréales (blé, avoine, orge). Il se développe préférentiellement sur les végétaux sénescents ou stressés. Il est impliqué dans la pourriture des tiges, des fruits et du système racinaire (Gupta *et al.*, 2000).

En outre, les espèces de *Fusarium* sont capables de produire des mycotoxines susceptibles de causer des intoxications graves chez l'Homme et chez les animaux d'élevage (Buerstmayr *et al.*, 2009 ; Pitt, 2000).

3.1.2.2. Les espèces du genre Alternaria

Environ une cinquantaine d'espèces connues, avec *Alternaria alternata* qui est le chef de file de ce genre, appartiennent à la division des Deutéromycètes. Clathrospora, Lewia, Pleospora sont les formes sexuées du genre *Alternaria*, qui sont rattachées aux Ascomycètes.

Pathogène de végétaux, les espèces du genre *Alternaria* sont cosmopolites et se comportent surtout comme des parasites de faiblesses qui se développent sur des plantes sénescents (Jard, 2009).

✚ Critères d'identification macroscopiques et microscopiques :

Les colonies d'*Alternaria spp.* ont une croissance rapide, un aspect velouté et sont de couleur noire ou grise. Leur température optimale de croissance est comprise entre 22°C et 27°C. Microscopiquement, les conidiophores courts et cloisonnés sont de couleur foncée. A leur extrémité, des chaînes de conidies simples ou ramifiées et de couleur brune. Elles sont pluricellulaires et divisées par des cloisons longitudinales ou transversales. Les conidies sont initialement ovales, mais elles prennent une forme de massue en vieillissant (**Rotem, 1996 ; Achetbi, 2021**).



Figure 18 : Aspect macroscopique d'*Alternaria alternata* (10)



Figure 19 : Observation microscopique d'*Alternaria alternata* (11)

Importance :

De nombreuses espèces sont des phytopathogènes de plantes cultivées. Les alternarioses touchent un grand nombre de plantes, telles que les céréales les cultures maraichères et fruitières (**Rotem, 1994**). En effet, Les espèces appartenant au genre *Alternaria*, avec *Aternaria alternata* sont à l'origine de différentes maladies affectant les céréales, notamment les nécroses des feuilles et la décomposition des grains (**Oerke, 2006**).

Les conditions climatiques chaudes avec une température optimale de 25° - 30 °C et un taux d'humidité élevé, caractéristiques des périodes de floraison, favorisent le développement des espèces du genre *Alternaria*. Ces conditions permettent une sporulation abondante et la dissémination rapide des conidies (**Bennett et Klich, 2003 ; Oerke, 2006**).

En plus de leur impact en phytopathologie, ces espèces possèdent la faculté de produire des mycotoxines comme l'alternariol et l'acide ténuazonique, qui peuvent constituer un risque pour la santé humaine et animale, du fait de leurs propriétés cytotoxiques et cancérigènes (**Bennett et Klich, 2003**).

3.1.2.3. Les espèces du genre *Claviceps*

Etant donné que, le mode de reproduction sexuée a été identifié chez toutes les espèces du genre *Claviceps*, ce dernier appartient donc, aux Ascomycètes et à la famille des Clavicipitacées. *Claviceps purpurea* est à la tête d'une cinquantaine d'espèces qui produisent plus de cinquante alcaloïdes différents (**Rehacek et Sajdl, 1990**). *Claviceps purpurea* est responsable de la maladie de l'ergot du seigle chez les végétaux et de l'ergotisme chez l'Homme et l'animal (**Bouchet et al., 2005**).

Cette espèce substitue les ovaires des fleurs par des sclérotés noirs et robustes renfermant des alcaloïdes nocifs nommés ergotamines, qui présentent un risque pour la santé des humains et des animaux (**Bove, 1970**).

La contamination des cultures se produit généralement durant les périodes humides de floraison, ces conditions étant propices à la germination des sclérotés dans le sol et à la libération de spores. Ces spores provoquent une infection des fleurs en éclosion, ce qui conduit à la colonisation de l'ovaire (**Agrios, 2005**).

Claviceps spp prolifère dans les zones tempérées car sa croissance nécessite des températures comprises entre 5° et 20°C. Une température de 12°C est optimale pour le développement des sclérotés et la production des spores. Par contre, les temps frais et humides favorisent la germination des ergots (**Alderman, 1993**).

Critères d'identification

Les espèces du genre *Claviceps* se distinguent par la couleur, la forme et la taille du sclérote, appelé également ergot qui est la forme de résistance durant l'hiver. Il a une enveloppe protectrice, rigide et de couleur brun-violacé à noir. Le sclérote est la forme sexuée du *Claviceps spp*, et la sphacélie en est la forme végétative. Les caractéristiques morphologiques du sclérote dépendent de l'hôte. Il est composé d'un amas compact de filaments mycéliens. Au printemps, le sclérote germe et cet agglomérat, nommé stroma, devient l'organe dans lequel se réalise l'élaboration des ascocarpes, qui produisent des spores (**Gauthier, 2016**).



Figure 20 : Sclérote de *Claviceps purpurea* (12)

Importance :

Claviceps spp est le parasite de plus de 400 espèces de végétaux. En effet, la plupart, des espèces de ce genre sont phytopathogènes. Elles se développent dans les organes reproducteurs des graminées.

Chez l'Homme, *C. purpurea* est responsable de l'ergotisme, aussi appelé « feu de Saint-Antoine » causé par l'ingestion de farines contaminées par les alcaloïdes produits par le sclérote. Cette mycotoxicoïse peut provoquer une gangrène des membres et une brûlure des tissus, dû au pouvoir vasoconstricteur des toxines de l'ergot. En plus, des symptômes neurologiques comme les hallucinations, les crises convulsives et dépressives. Les cas d'ergotisme sont, de nos jours, rares voire inexistants (Tudzynski et Scheffer, 2004).

3.2. Développement des espèces fongiques sur les céréales

La croissance des espèces de champignons sur les céréales est un phénomène complexe qui dépend de nombreux facteurs biologiques et environnementaux. Ces champignons microscopiques parasitent les différentes parties de la plante, y compris les feuilles, les tiges, les épis et les grains, entraînant diverses pathologies susceptibles de diminuer fortement les productions agricoles. Les relations entre l'espèce fongique et la plante hôte sont fréquemment propres à chaque espèce, ce qui a un impact sur la gravité et le genre de symptômes constatés (Agrios, 2005).

Les micromycètes, grâce à leur faculté d'adaptation aux divers milieux et leur reproduction rapide par les spores, peuvent prospérer efficacement dans les cultures céréalières, particulièrement lorsque les conditions météorologiques sont propices. Ces champignons ont souvent une phase saprophyte dans le sol ou les résidus comme partie intégrante de leur cycle de vie. Ce qui facilite la survie et la propagation des agents pathogènes (Deacon, 2006).

3.2.1. Mécanisme de colonisation des céréales par les micromycètes

L'infestation des céréales par les micromycètes parasites, débute généralement par la germination des spores sur la plante, puis elle est suivie de l'infiltration des tissus végétaux.

Cette intrusion peut s'effectuer directement à travers la cuticule ou par des points vulnérables tels que les stomates, les lenticelles, ou des lésions mécaniques. Certaines espèces de champignons génèrent des structures spécialisées comme les appressoria pour s'ancrer et transpercer la surface des cellules hôtes (**Alix, M.J.MARC. 2002 ; Mims et Blackwell, 1996**).

Une fois intégrés aux tissus, les champignons peuvent adopter diverses stratégies nutritives : la biotrophie, la nécrotrophie ou l'hémibiotrophie, en fonction de leur interaction avec la plante hôte. La faculté de générer des enzymes qui dégradent la paroi cellulaire (cellulases, pectinases, ligninases) favorise la colonisation en démantelant les barrières physiques végétales (**Deacon, 2006**).

3.2.3. Processus de la croissance mycélienne sur les céréales

Le processus dynamique de croissance mycélienne des champignons sur les céréales est influencé par la disponibilité des nutriments, les conditions environnementales et les mécanismes de défense de la plante hôte. Le mycélium s'étend à travers les hyphes, créant un réseau complexe qui peut absorber efficacement l'eau et les nutriments (**Robson et Trinci, 2011**).

Des signaux chimiques émanant de l'environnement et de l'hôte végétal régulent aussi la croissance du mycélium. Ces signaux peuvent provoquer l'élaboration de structures particulières, comme les appressoria, indispensables à la pénétration. La gravité de l'infestation est directement influencée par la rapidité de croissance et la densité du mycélium. (**Deacon, 2006**).

3.2.4. Facteurs environnementaux favorisant l'infestation fongique des céréales

L'infestation des céréales par les champignons phytopathogènes est fortement influencée par les facteurs environnementaux. Un taux d'humidité élevé est généralement nécessaire pour que les spores germent et que le mycélium se développe, surtout durant les phases clés comme la floraison. Un développement optimal de plusieurs espèces fongiques est favorisé par des températures modérées, habituellement situées entre 15°C et 25°C (**Agrios, 2005**).

La dispersion des spores sur de vastes étendues est facilitée par le vent et la pluie, ce qui accroît le danger d'épidémies. La survie et la propagation des agents pathogènes sont également influencées par la densité de la culture, la qualité du sol et l'existence de débris végétaux. Une gestion inappropriée en agronomie peut donc accentuer la susceptibilité des cultures aux maladies (Oerke, 2006).

3.3. Les principales pathologies fongiques des céréales

Les céréales peuvent être affectées par différentes maladies fongiques, entraînant des pertes économiques considérables en altérant la qualité et la productivité des cultures. Plusieurs espèces de champignons sont responsables de ces maladies, chacun présentant des traits distincts en matière de croissance, d'expansion et d'effet sur la plante hôte (Agrios, 2005).

3.3.1. La fusariose

Les pathologies à *Fusarium* sont communément nommées par le terme générique « fusarioses ». Cette maladie des céréales dites « à petits grains » est cosmopolite. Elle engendre des pertes économiques très importantes (Heit, 2015).

Les deux principaux types de fusariose des céréales :

- **La fusariose des semences** ou « **Seedling Blight** », Le semis de grains contaminés lors d'une saison culturale antérieure conduit à la dissémination de l'agent pathogène qui entraîne alors d'importantes fontes de semis dues à une nécrose du système racinaire induisant une incapacité de la plante à se développer normalement.
- **La fusariose de l'épi** ou « **Head Blight** » La fusariose de l'épi est une des maladies majeures des céréales due à un complexe d'une vingtaine d'espèces fongiques des genres *Fusarium* et *Microdochium* (Walter *et al.*, 2010). Plusieurs espèces sont fréquemment associées à la FHB : *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *M. nivale* et *M. majus* (Xu et Nicholson, 2009 ; Xu *et al.*, 2008). Les deux dernières espèces ne sont pas toxigènes. Sur le blé, elle est généralement provoquée par *F. graminearum* et *F. culmorum*. Cependant, sur l'orge, elle peut aussi être causée par *F. poae* et *F. avenaceum* (McMullen et Stack, 2011). *Fusarium graminearum* est l'espèce prédominante et la

plus agressive dans une grande partie du monde, en particulier dans les climats tempérés et chauds (**Osborne et Stein, 2007**).

Cette maladie est favorisée par des périodes prolongées d'humidité élevée associées à des températures allant de 24°C à 30°C pendant la floraison. Si l'humidité persiste plus de trois jours, la maladie peut apparaître même en cas de températures plus froides (**Desjardins, 2006 ; McMullen et Stack, 2011**).

L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains ; ce qui a des conséquences néfastes lors des processus de transformations industrielles des grains (**Pirgozliev et al., 2003**).

3.3.1.1 Symptômes :

Lorsque les conditions climatiques sont favorables, la fusariose peut attaquer à tous les stades de développement et tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis (**Fig :20**). Les symptômes de fusariose ne permettent pas de distinguer les espèces présentes au sein du complexe fusarien (**Xu et al., 2008**).

Sur l'épi de blé, des signes de dessèchement anticipé des glumes, des grains décolorés et de petite taille, parfois accompagnés de mycéliums roses visibles sont observés. Elle est caractérisée par le flétrissement des épis et une sénescence prématurée, les épis apparaissent alors blanchâtres (fig.20A). Les grains de blé fusariés sont petits, légers, ridés et parfois couverts d'un duvet blanc rose (fig. 20B). Lors d'une infestation plus tardive, les grains peuvent être de taille normale mais ils se colorent en rose.

Chez le maïs grain, la fusariose de l'épi est reconnaissable par la moisissure rose à rougeâtre qui recouvre l'épi et qui débute la plupart du temps à son l'extrémité ou suite à une blessure d'insecte ou d'oiseaux. De plus, les rafles de maïs deviennent spongieuses et les spathes délavées adhèrent étroitement aux grains. La présence de périthèces noirs sur les spathes, plus tard dans la saison, peut être remarquée (Bailey *et al.*, 2004 ; Mesterházy *et al.*, 2012).



Figure 21 : La fusariose de l'épi du blé (13)



Figure 22 : Les symptômes de la fusariose de l'épi sur l'épi (A) et grains de blé fusariés (B) (14)

3.3.1.2 Le cycle de développement de la fusariose de l'épi :

Fusarium spp. se conserve d'une saison culturale à l'autre sur les débris végétaux avec un développement saprophytique en hiver. Lorsque les conditions sont optimales (généralement au printemps), des périthèces (fructifications sexuées) produisent des ascospores qui sont éjectées et constituent l'inoculum primaire (Paulitz, 1996). Il peut également y avoir formation de microconidies (cycle asexué). La dissémination des ascospores se fait principalement par le

vent et permet une dissémination à longue distance alors que les macroconidies sont dispersées par les éclaboussures des pluies, à faibles distances (**Goswami et Kistler, 2004**). Les deux types de spores vont infecter les épis des céréales lors de la floraison de celles-ci qui correspond au stade de sensibilité maximale de la plante.

Après dissémination, une forte humidité supérieure à 90% et une température entre 15° et 30°C, favorisent la germination des spores sexuées ou non sur les différents tissus sur lesquels elles se sont déposées, comme les glumes, les glumelles, parties stériles des épillets et des fleurs, respectivement, et les anthères (**Brown et al., 2010**). Les hyphes fongiques vont pouvoir pénétrer les glumes et glumelles par les stomates ou blessures et atteindre l'ovaire en colonisant les anthères. Une fois la cavité de l'épillet atteinte, les hyphes vont coloniser le grain en formation en pénétrant l'épicarpe, les téguments de la graine et se développer dans ces derniers ainsi que dans l'endosperme du grain (**Jansen et al., 2005**).

Le développement des hyphes est, dans un premier temps, asymptomatique. Après, 2 à 4 jours d'infestation, les tissus colonisés à l'arrière du front de colonisation présentent des symptômes de nécroses et de blanchiment (**Bottalico et Perrone, 2002**).

La maladie se perpétue, ainsi d'une année à une autre, soit par les caryopses infestés qui hébergent le parasite, soit par les spores formées sur la plante parasitée durant tout le cycle végétatif, soit enfin par contamination du sol (**Mrabet, 1998 ; Caron, 2000**). Elle s'accompagne de problèmes de santé publique dus à la production de mycotoxines par les espèces du genre *Fusarium* (**Yazar et Omurtag, 2008**).

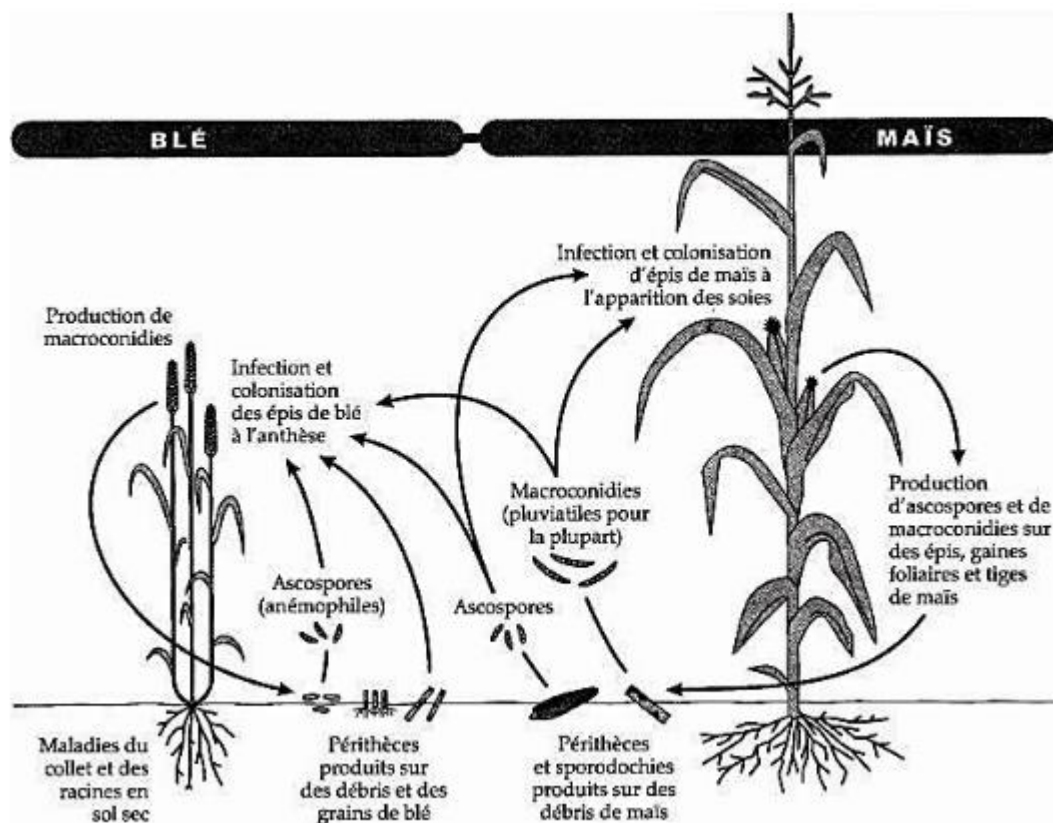


Figure 23 : Cycle de développement de la fusariose de l'épi chez le blé et le maïs (Bailey et al., 2004)

3.3.2. La septoriose :

Elle peut être provoquée par trois espèces du genre *Septoria* qui sont : *Mycosphaerella graminicola* (***Septoria tritici***), *Leptosphaeria nodorum* (***Septoria.nodorum***) et *Leptosphaeria avenaria* (***Septoria avenae***).

Ces espèces présentent des différences sur le plan des symptômes et de la biologie. L'infestation initiale se manifeste par l'apparition de taches ou lésions chlorotiques oblongues ou allongées de forme irrégulière. À mesure que ces taches s'étendent, elles prennent une couleur jaune paille claire, elles sont légèrement nécrotiques et mouchetées par de nombreux petits points noirs (les pycnides). Les lésions causées par *Septoria tritici* sont linéaires et

limitées latéralement par les nervures, alors que celles occasionnées par *Septoria nodorum* et par *Septoria avenae* sont lenticulaires. Toutes les parties aériennes de la plante peuvent être affectées. L'infestation légère, ne produit que quelques taches dispersées, mais dans le cas d'infestation grave, les feuilles et les épis peuvent être totalement détruits. Il est difficile d'identifier les espèces sur le terrain et il est souvent nécessaire d'avoir recours pour cela à l'examen microscopique (Boudjemai.I, 2021).



Figure 24 : La septoriose des feuilles à *Septoria tritici* (15)

3.3.2.1 La tache septorienne :

Cette maladie est la deuxième maladie la plus répandue en Algérie après la tache auréolée. Elle est beaucoup plus importante dans les zones du littoral. Elle a eu un impact important en 2006, aussi bien sur le blé dur que sur le blé tendre dans les wilayas de Skikda, Annaba, Constantine et Guelma (Abdi, 2015).

Les symptômes dus à *Septoria tritici* commencent par de petites taches de couleur brune rougeâtre irrégulières sur les feuilles inférieures et en particulier sur celles en contact du sol. Les taches sont d'abord délimitées par les nervures pour ensuite s'étendre longitudinalement de 5 à 15 mm et prendre une couleur grise claire (Ezzahiri, 2001 ; Michel, 2002 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009). Après l'apparition des nécroses sur les feuillages, des punctuations

noires alignées parallèlement appelées pycnides, sont observées (Ezzahiri, 2001 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Les chaumes du précédent cultural constituent la source principale de l'inoculum. Les pycnides du champignon peuvent survivre sur les chaumes de blé jusqu'à 6 mois et induire les premières infestations sur les jeunes plantules de blé précisément sur les premières feuilles en contact du sol. En présence d'eau libre, les pycnides gonflent et produisent une gelée sporifère incolore qui protège les pycnidiospores en conditions défavorables. Après germination le champignon colonise le tissu foliaire. L'humidité est indispensable pour tous les stades de l'infestation (Ezzahiri, 2001).

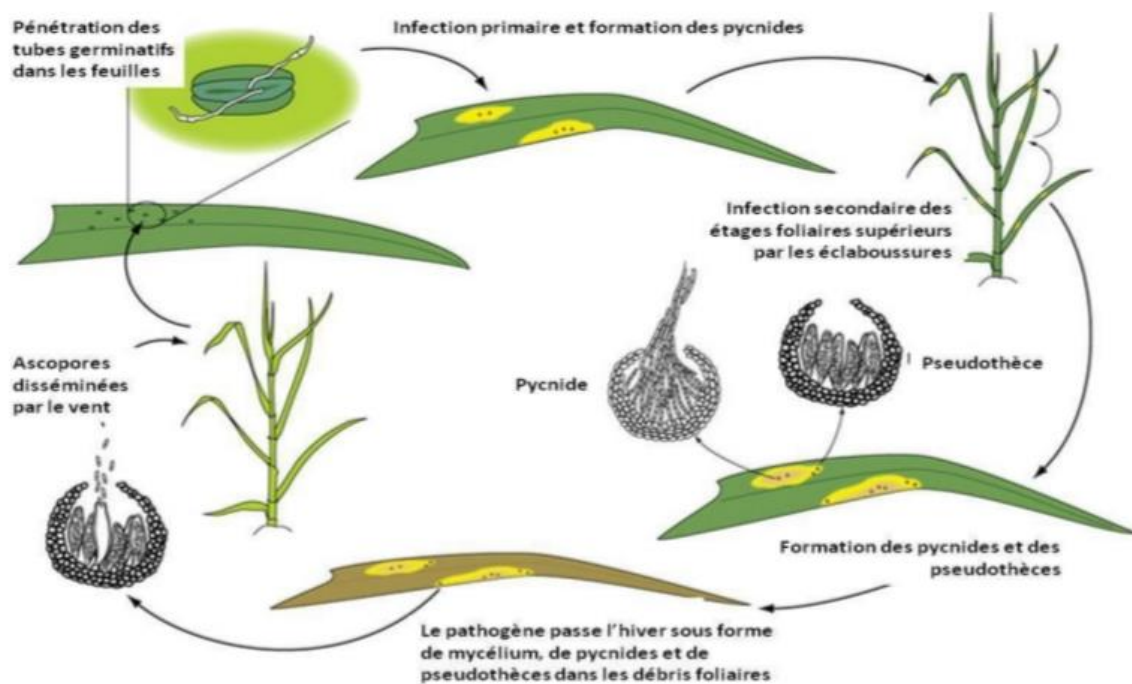


Figure 25 : Cycle de développement de *S. tritici* présentant les deux phases : sexuée et asexuée (Ponomarenko *et al.*, 2011)

3.3.2.2 La Septoriose des feuilles et des épis :

Les symptômes causés par *Septoria nodorum* se manifestent sur le feuillage et sur les glumes, la gaine des feuilles et les nœuds. Sur les feuilles, des taches ovales ou lenticulaires brunes apparaissent, elles peuvent être entourées d'une chlorose ou d'un jaunissement périphérique. Lorsqu'elles sont abondantes, elles confluent formant de grandes plages nécrotiques. Les pycnides sont de couleur brune claire moins apparente que celles provoquées par la septoriose des feuilles (Ezzahiri, 2001 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009). Plus tard, ces pycnides virent au gris foncé, et à ce moment-là, leur distinction de celles de *Septoria tritici* devient difficile et seul un examen microscopique permet leur différenciation. Sur les glumes, la maladie se développe lorsque l'attaque est importante. Les symptômes se manifestent par de petites taches grises qui vont disparaître et présentent des colorations brunes ou des symptômes d'échaudage (Ezzahiri, 2001). Les variétés mexicaines sont sensibles à cette maladie (Belaid, 1996).

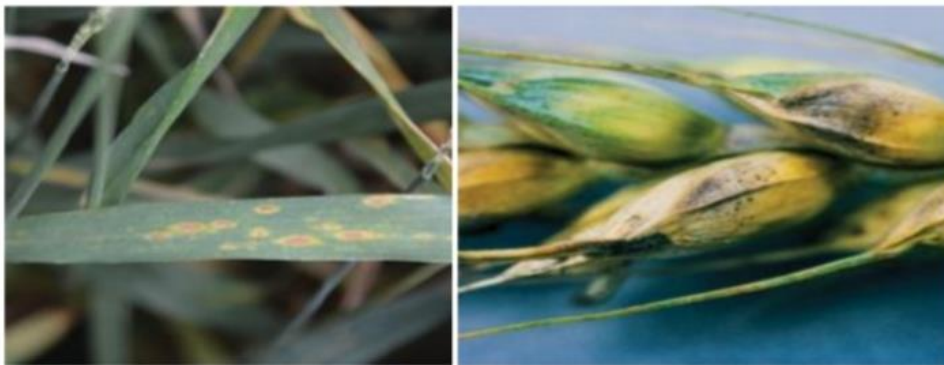


Figure 26 : Symptômes de *Septoria nodorum* (15)

3.3.3. Les rouilles :

Les rouilles sont les pathologies des céréales les plus destructrice et les plus connues. Toutes les parties aériennes des plantes sont sensibles aux attaques, des plantules aux plantes

matures. Les types de rouille peuvent être distingués par les caractéristiques de l'urédospore, la couleur de l'urédospore et les types de plantes hôtes. **(Zillinsky, 1983).**

Les rouilles sont causées par des Basidiomycètes de l'ordre des Urédinales qui sont des parasites biotrophes obligatoires et endophytes. La rouille est l'une des maladies les plus destructrices du blé. L'épidémie peut se développer dans certaines zones, provoquant des pertes allant jusqu'à 25% **(Daguenet, 1990 ; Sayoud *et al.*, 1999).**

Le blé et l'orge sont affectés par différents types de rouille. Les trois types de rouille qui affectent le blé sont la rouille brune, la rouille noire et la rouille jaune **(Amrani, 2013).** D'après les prospections menées par Sayoud *et al.*, (1996), la présence de rouilles se situe principalement dans les hauts plateaux et les plaines de la Mitidja. Les reconnaître n'est pas difficile car l'agent fongique produit des pustules caractéristiques, constituées principalement de spores qui se propagent facilement par le vent **(Aouali et Douici-Khalfi, 2013).**

3.3.3.1 La rouille brune :

La rouille brune est répandue dans le monde entier. Elle sévit dans toutes les régions où le blé est cultivé en Algérie **(Benbelkacem, 1991, Boubekour *et al.*, 1996).**



Figure 27 : Maladie de la rouille brune (15)

a-Symptômes :

Puccinia recondita est responsable de l'apparition de la rouille brune, qui se manifeste par la formation ; de petites cloques rondes ou ovales de couleur orange ou brune nommées urédospores, sur la face supérieure des feuilles (**Lamari *et al.*, 1991 ; Sayoud *et al.*, 1999 ; Ezzahiri, 2001**), et parfois sous les feuilles. En fin de saison, ces ampoules prennent une couleur noire téléutospores. (**Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; Ezzahiri, 2001**).

b-Développement de la maladie :

Selon Jalebini (2011), cette maladie se développe à la fin de l'hiver, elle préfère les températures élevées et l'humidité au printemps. Weise (1987) a également déclaré qu'à des températures comprises entre 15 et 22 °C, cette maladie se développe rapidement.

Caron (1993), mentionne qu'à la moisson, les urédospores pulvérulentes sont dispersées par le vent. Les graminées adventices sur lesquelles la rouille se développe plus difficilement peuvent servir d'hôte de transfert. Les infestations primaires sont occasionnées par les urédospores. Les infestations qui en résultent apparaissent précocement au stade tallage, et constitue par la suite des foyers d'infestation caractérisés par la présence des pustules sur les feuilles basales. L'inoculum exogène, provient d'autres parcelles infestées et dont les spores sont transportées par le vent à travers de longues distances. Les pustules de cet inoculum apparaissent sur les feuilles supérieures (**Yahyaoui, 2003 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009**). (Fig.27)

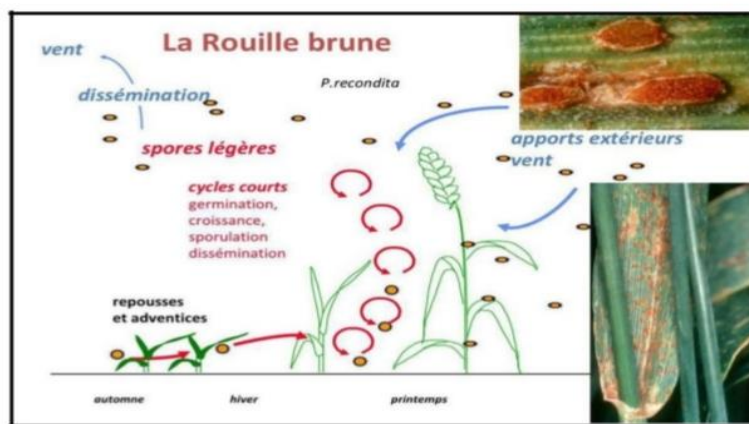


Figure 28 : Cycle de développement de *Puccinia recondita* (Abdi ; 2015)

3.3.3.2. La Rouille jaune :

L'agent pathogène qui cause la rouille jaune sur le blé est *Puccinia striiformis* (Amrani, 2013), qui peut causer de graves dommages aux cultures. Les facteurs climatiques contrôlent son développement, il se développe dans des conditions climatiques particulières : printemps frais, nuageux et venteux (Moreau, 2011). L'apparition de la rouille jaune se produit au moment du processus de montaison du premier nœud à la dernière feuille au niveau du terrain. Les premières attaques se produisent sur les feuilles inférieures de certaines plantes (Masson, 2012).



Figure 29 : La rouille jaune du blé (16)

a-Symptômes :

Les symptômes de *Puccinia striiformis* sont des cloques sphériques de couleur jaune ou orange disposées en bandes le long des nervures des feuilles, d'où le nom de cette espèce. Elle peut également se développer sur la face inférieure des feuilles, sur les épis et les grains. (Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; Ezzahiri, 2001 ; Jlibene, 2011).

b- Le développement de la maladie :

Le cycle de vie de *P. striiformis* est limité à deux stades, urédinale et téliel (El jarroudi, 2005). Les plantes infestées après la levée des céréales ou pendant l'automne sont rares. Si la température est suffisamment élevée, un cycle végétatif (monocycle à urédospores) peut avoir lieu pendant l'automne, installant ainsi le foyer encore invisible du fait du faible nombre de pustules. Pendant l'hiver, les incubations de nouvelles infestations se poursuivent (Caron, 1993). Prescott en 1987, souligne que l'infestation primaire est causée par des spores transportées par le vent. Les spores sont jaunes ou orangées, presque sphériques, épineuses, de 28-34 μm de diamètre. Les feuilles caudales apparaissent au niveau du limbe et de la gaine foliaire sous forme de filaments brun foncé où elles restent recouvertes par l'épiderme. (Zilinsky, 1983).

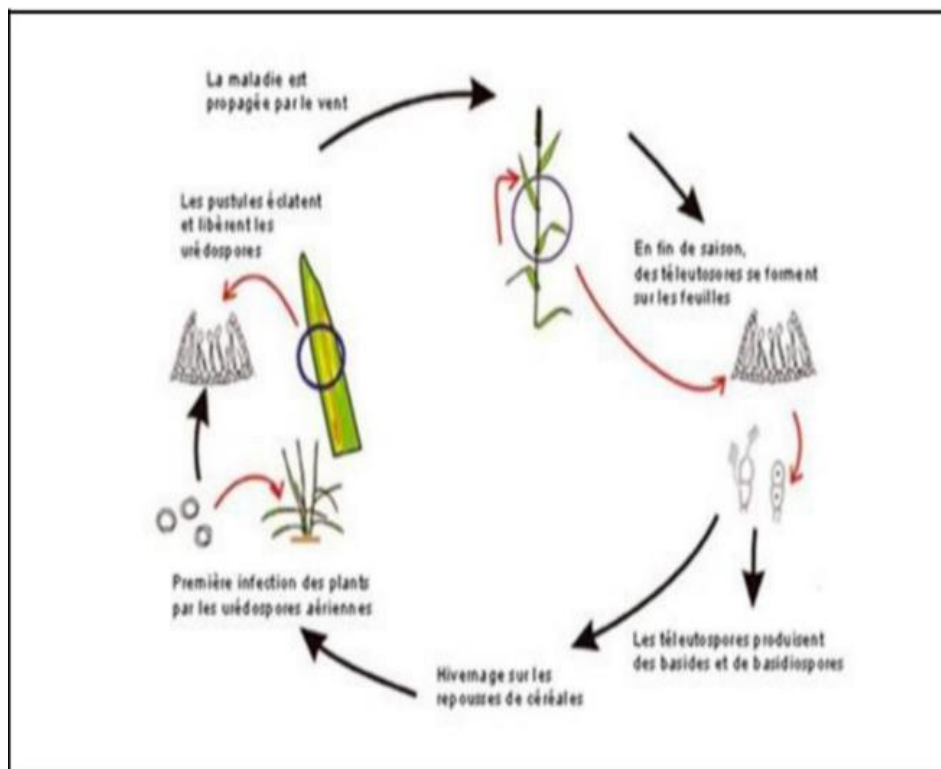


Figure 30 : Cycle de développement de *P. striiformis* (17)

3.3.3.3 Rouille noire :

La rouille noire est une phytopathologie causée par *Puccinia graminis* qui parasite les céréales. L'espèce en cause attaque le blé ainsi que d'autres céréales comme hôte principal et l'épine vinette (*Berberis vulgaris*) comme hôte secondaire (**Nasraoui, 2006**).

a-Symptômes :

C'est la rouille qui apparaît le plus tardivement, généralement au stade grain laiteux, pâteux. Elle se développe sur les feuilles, les tiges et même sur les épis en formant des pustules allongées de couleur rouge brique à marron foncée (**Martens et al., 1979 in Benathemane, 2005**).



Figure 31 : La rouille noir du blé (18)

b - Le développement de la maladie :

La plupart des spores sont dispersées par le vent et parcourent de petites, mais parfois aussi de grandes distances. La température favorable varie de 15°C – 30°C (**Yahyaoui, 2003**). Les rouilles ont généralement un cycle biologique complexe, comportant dans sa forme la plus complète, cinq stades sporogènes différents alternant sur deux hôtes distincts (rouilles dioïques). C'est le cas de la rouille noire du blé, les stades urédosporien et téléutosporien se déroulent sur la céréale, tandis que le stade écidien se rencontre sur l'épine-vinette (**Semal, 1989**).

Les infestations primaires sont généralement légères et sont produites par des urédospores transportées parfois de très loin par le vent, l'humidité (pluie ou arrosage) et des températures modérées sont propices au développement de la rouille noire. A l'approche de la maturité, des téléutospores de teinte brun noir se forment à la place des urédospores.

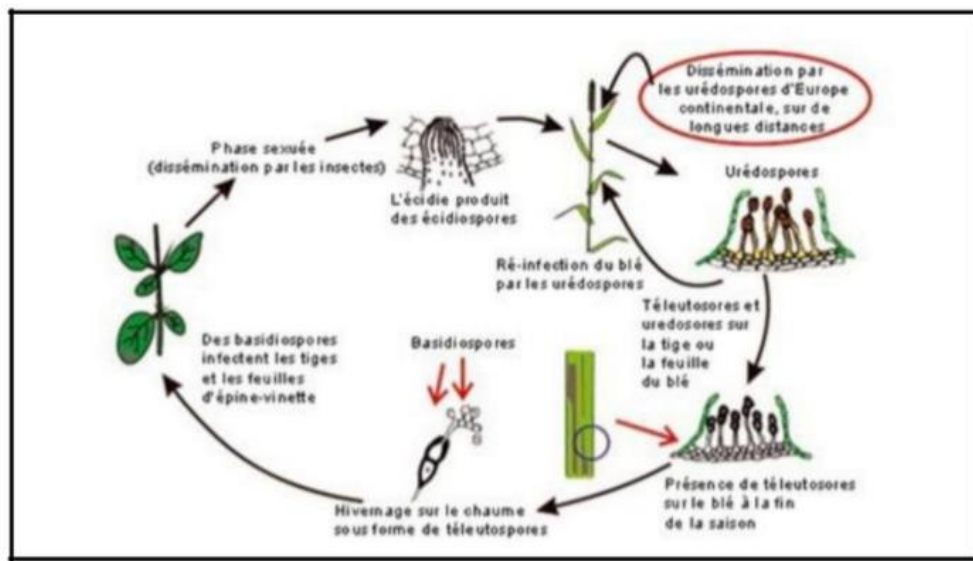


Figure 32 : Cycle de développement de *Puccinia graminis* (19)

3.4. Les mycotoxines

3.4.1. Définition

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires, nocives synthétisées par certains champignons microscopiques, en particulier ceux qui infestent les céréales et d'autres plantes cultivées. Elles ne sont pas indispensables à leur développement. Néanmoins, elles peuvent s'avérer très nocives pour d'autres êtres vivants. Elles constituent une menace sérieuse pour la santé des hommes et des animaux en contaminant les denrées alimentaires et les aliments pour bétail, tout en posant un enjeu économique significatif lié à la dégradation de la qualité et aux contraintes commerciales (Bennett et Klich, 2003).

Ces toxines fongiques peuvent engendrer une variété d'effets toxiques, allant de problèmes digestifs à des cancers ou des défaillances du système immunitaire chez les êtres humains et les animaux exposés. Les champignons toxinogènes produisent des mycotoxines comme stratégie d'adaptation à leur environnement afin de rivaliser avec d'autres micro-organismes ou pour favoriser l'infestation de l'hôte (**Peraica et al., 1999 ; Bennett et Klich, 2003**).

3.4.2. Principales mycotoxines produites par les micromycètes au champ

Les champignons pathogènes des céréales produisent plusieurs types majeurs de mycotoxines, qui sont étudiées pour leur impact sanitaire et économique. Parmi elles, les toxines produites par les genres *Fusarium*, *Alternaria* et *Claviceps* sont les plus importantes. Le rôle des mycotoxines chez les moisissures toxinogènes n'est pas encore élucidé. Elles permettraient, entre autres, de lutter contre l'invasion d'autres microorganismes (**Utermark et Karlowsky, 2007**).

3.4.2.1. Les toxines de *Fusarium spp.*

Certaines espèces de *Fusarium* à l'instar de *F. graminearum* et *F. culmorum*, qui infestent les céréales, peuvent produire une ou plusieurs mycotoxines. Parmi les fusariotoxines, présentes sur les céréales ; les trichothécènes, les fumonisines et la zéaralénone sont les plus rencontrées. Ces substances toxiques ont un impact sur la santé en induisant des problèmes immunitaires, des cancers et des déformations chez les animaux. La déoxynivalénol (DON) est particulièrement redoutable, car elle est fréquemment identifiée dans les céréales contaminées, en particulier le blé et le maïs (**Desjardins, 2006 ; Munkvold, 2003**).

Tableau 6 : Les toxines produites par les espèces de *Fusarium* (Pitt, 2000)

Espèces	Toxines produites
<i>Fusarium culmorum</i>	Trichothécènes B, Zéaralénone, Culmorine, Fusarine C
<i>Fusarium avenaceum</i>	Moniliformine, Fusarine C
<i>Fusarium graminearum</i>	Trichothécènes B, Zéaralénone
<i>Fusarium oxysporum</i>	Acide fusarique, Moniliformine, Oxysporine
<i>Fusarium poae</i>	Trichothécènes A, Fusarine C
<i>Fusarium proliferatum</i>	Moniliformine
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Trichothécènes A, Zéaralénone, Fusarine C
<i>Fusarium verticillioides</i>	Fumonisines, Fusarine C, Moniliformine, Naftoquinone, Gibberelines

3.4.2.2. Les toxines d'*Alternaria* spp.

Des toxines comme l'alternariol, l'acide tenuazonique et d'autres substances toxiques sont produites par des espèces d'*Alternaria*. Ces mycotoxines exercent une cytotoxicité et une génotoxicité, ayant un impact sur la santé des hommes et des animaux. (Bennett et Klich, 2003 ; Logrieco *et al.*, 2009).

Tableau 7: Les toxines produites par les espèces d'*Alternaria* (Bottalico et Logrieco, 1998)

Espèces	Toxines produites
<i>Alternaria brassicicola</i>	Alternariol, Alternariol monométhylether
<i>Alternaria oryzae</i>	Acide tenuazonique
<i>Alternaria solani</i>	Alternariol, Alternariol monométhylether, Acide tenuazonique
<i>Alternaria radicina</i>	Acide tenuazonique, Altertoxines I, II, III
<i>Alternaria cassiae</i>	Altertoxines I, II, III
<i>Alternaria tenuissima</i>	Tentoxine

3.4.2.3. Les toxines de *Claviceps spp*

Les espèces de *Claviceps* produisent des alcaloïdes toxiques nommés ergotamines. Ces alcaloïdes peuvent provoquer des intoxications sévères, telles que l'ergotisme, qui se manifeste par des problèmes vasculaires et nerveux, pouvant aller jusqu'à la mort. Cette maladie a, dans le passé, provoqué de graves épidémies d'empoisonnement chez l'homme et les animaux d'élevage (Büchler et Hetzel, 1994 ; Joffe, 1994).

Tableau 8: Les alcaloïdes produits par les espèces de *Claviceps* (Rehacek et Sajdl, 1990)

Espèces	Toxines produites
<i>Claviceps fusiformis</i>	Clavine, Elymoclavine
<i>Claviceps paspali</i>	Acide lysergique, Chanoclavine
<i>Claviceps purpurea</i>	Acide lysergique, Chanoclavine, Ergotamine, Agroclavine Ergocriptine, Ergosine, Chanoclavine
<i>Claviceps africana</i>	Clavine, Dihydroergosine

Chapitre 4 : Les moyens de lutte et règlementation

4.1. Moyens de lutte sur les cultures céréalières

La lutte contre les pathologies fongiques des céréales est orientée pour protéger les plantes saines des maladies plutôt que de guérir les plantes malades pour accroître la quantité et améliorer la qualité de la production agricole (**Benmehidi et Boukaabache, 2018**).

Les méthodes de lutte appliquées en agriculture varient considérablement d'une maladie à une autre en fonction du pathogène, de la plante hôte et de leur interaction chacun avec l'autre et avec l'environnement (**Nasraoui, 2008**). Pour empêcher ou limiter les dégâts causés par les pathogènes, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de lutttes efficaces (**Orlici et Benkara, 2018**).

4.1.1. Choix des hybrides

Opter pour des variétés ou des hybrides résistants est une stratégie préventive essentielle afin de réduire l'effet des champignons phytopathogènes. Certaines variétés de maïs montrent une résistance renforcée à *Fusarium verticillioides* ou *F. graminearum*, ce qui diminue le danger d'une contamination par les mycotoxines. Aussi, des types de blé résistants à la fusariose de l'épi ont été créés, en se basant sur des gènes présentant une résistance partielle (tel que Fhb1). Cette méthode contribue à diminuer la vulnérabilité des cultures sans dépendre des interventions chimiques (**Buerstmayr et al., 2009**).

Le choix de la variété est indissociable du choix de la date et de la densité de semis, facteurs qui eux-mêmes ont des conséquences en matière de développement parasitaire, de maladies et d'adventices (**Viaux, 1999**).

Selon **Ait-Slimane-Ait-Kaki, (2008)**, Les qualités recherchées dans une variété dépendent de l'objectif que s'est fixé l'agriculteur et des conditions climatiques et pédologiques locales. Pour choisir une variété, il faut avoir en tête les caractéristiques fondamentales suivantes :

- Productivité ; qualité ; précocité ; résistance ; pouvoir de multiplication et alternativité.

4.1.2. Rotation des cultures :

Pour les céréales le choix d'un précédent cultural est très important car il permet à la culture de bénéficier des avantages apportés par son précédent.

L'un des moyens les plus efficaces pour réduire la permanence des agents pathogènes dans le sol est la pratique de la rotation des cultures. Par exemple, l'alternance de maïs avec des cultures qui ne sont pas des hôtes, telles que les légumineuses ou certaines crucifères,

contribue à interrompre le cycle biologique de champignons tel que *Fusarium spp.* Il est habituellement conseillé d'effectuer une rotation tous les trois ans afin de réduire considérablement la quantité d'inoculum dans les débris végétaux (**Watkinson et Gooday, 2001**).

4.1.3. Travail du sol.

Les méthodes de préparation du sol ont un impact sur la dynamique des agents pathogènes. Le labour profond, en ensevelissant les débris contaminés, minimise l'exposition des spores à la surface et diminue leur propagation. À l'opposé, les pratiques de semis direct, bien qu'elles soient bénéfiques contre l'érosion, peuvent favoriser la persistance de certains champignons nuisibles dans les résidus non dégradés. Il est donc essentiel d'adapter le type de traitement du sol aux dangers phytopathologiques identifiés dans chaque zone. (**Bateman et Kwasna, 1999**).

Le travail du sol consiste en une série d'actions visant à modifier la partie supérieure du sol, afin de créer des conditions propices à la croissance d'une culture particulière. (**Laverdière, 2005**). Les opérations de travail du sol ont pour objectif d'optimiser les conditions de développement des plantes en créant une structure physique favorable à la culture souhaitée. Elles visent également à favoriser l'activité biologique du sol (**Aubert, 1977**). Le travail du sol englobe à la fois le labourage et les travaux de préparation de la surface du sol pour la plantation. La qualité de ce travail dépend de plusieurs facteurs, notamment de la nature des outils utilisés et du moment optimal pour chaque opération. (**Abdat et Hammache, 2020**). Selon Bodson *et al.* (2019), chaque parcelle de terre doit être traitée de manière spécifique en fonction de ses caractéristiques structurales propres. Ceci prend en compte l'historique culturel de la parcelle, la nature de la culture précédente, l'état actuel du sol au moment de la plantation, ainsi que les conditions climatiques.

4.1.4. Application de fongicides :

L'utilisation des fongicides est devenue très répandue car elle vise à diminuer l'impact de la maladie et réduit de 50 à 60% de sa sévérité (**Alem et Amrouche, 2016**). Les fongicides de composition chimique font partie des pesticides qui sont des produits agro-pharmaceutiques ou produits phytosanitaires (**Orlici et Benkara, 2018**). Leur efficacité est liée au stade physiologique de la plante au moment de l'application. Ces fongicides doivent être pulvérisés sur les plantes avant l'envahissement par le pathogène dans le but d'assurer une protection contre les infestations (lutte préventive) (**Nasraoui, 2008**). Le contrôle chimique peut être

efficace mais son inconvénient consiste en la possibilité de développer des souches fongiques résistantes ainsi que le coût énorme des fongicides (**Hamel, 2016**).

L'emploi de fongicides est une pratique fréquente pour combattre les champignons nuisibles. Les Triazoles par exemple : le tébuconazole et le prothioconazole sont efficaces contre la fusariose de l'épi ainsi que d'autres maladies telles que la septoriose. Cependant, leur efficacité repose sur le moment idéal de leur application, généralement autour de la période de floraison du blé. Il est aussi, essentiel de gérer les risques de résistance en variant les groupes chimiques et en incorporant les fongicides dans une approche de lutte intégrée (**Edwards, 2004 ; Paul et al., 2008**).

●Contre la fusariose :

L'application des traitements pesticides préventifs au début de la floraison en cas de forte humidité ou une pluie persistante pendant l'épiaison (plus de 48h à 100% d'humidité) peut éviter le risque de l'apparition de cette maladie. Plusieurs matières actives sont utilisées pour traiter la fusariose (**Bouakaz et Oussaid, 2013**), les matières actives homologués en Algérie sont à base de triazoles (Triadimenol, Tebuconazole, Difenoconazole, cyproconazole) ; et également à base de Dithiocabamates tels que le manèbe et thirame ; d'autres produits à base de Prochloraze, Carboxin, Spiroxamine, et de Trifloxystrobine sont homologués (**DPVCT, 2015**).

●Contre la septoriose :

Deux applications de fongicides sont nécessaires pour contrôler la septoriose :

- ✓ La 1^{ère} application, au stade 2 - 3 nœuds pour protéger l'avant-dernière feuille.
- ✓ La 2^{ème} application, au stade, dernière feuille étalée-début épiaison, pour protéger la dernière feuille et l'épi.

Ainsi, si aucun symptôme n'est présent et le temps est sec, l'application du premier traitement n'est pas nécessaire. Il faut prévoir une protection au stade dernière feuille étalée-gonflement (**Bouakaz et Oussaid, 2013**).

Plusieurs fongicides sont homologués en Algérie pour lutter contre la septoriose. Ils sont principalement à base de triazoles, de Chlorothalonil, d'Asoxystrobine, de Prochloraze, de Spiroxamine et de Kresoxim methyl (**DPVCT, 2015**).

● Contre la rouille jaune et la rouille brune :

Pour la rouille jaune, il faut intervenir uniquement en présence de foyers actifs de rouille jaune (pustules pulvérulentes) pendant le stade épi 1cm. Mais durant le stade un nœud, il faut traiter dès l'apparition des premières pustules dans la parcelle (**Bouakaz et Oussaid, 2013**).

Pour la rouille brune, appliquer le premier traitement dès l'apparition de cinq à dix pustules en moyenne par feuille (1% de la surface foliaire) et répéter le traitement dès l'apparition de nouveaux symptômes (**Bouakaz et Oussaid, 2013**).

Les fongicides utilisés contre les rouilles, sont essentiellement à base de :

- **Triazoles** : Epoxiconazole, Tebuconazole, Triticonazole, Cyproconazole, Triadimenol, Propiconazole, difienoconazole.
- **Azoxystrobines** : Trifloxystrobine, Chlorothalonil.
- **Dithiocarbamates** : mancozèbe, thirame, zirame (**DPVCT, 2015**).

4.2. Prévention après la récolte :

4.2.1. Utilisation des additifs et de conservateurs antifongiques sur les céréales.

Recourir à des additifs antifongiques est une approche cruciale pour éviter que les céréales ne soient contaminées par des champignons phytopathogènes. Des substances telles que les acides organiques (comme l'acide propionique et l'acide sorbique) et certains composés antifongiques d'origine naturelle (tels que les huiles essentielles) sont utilisées après la récolte pour empêcher le développement des champignons. Par exemple, l'acide propionique est couramment employé pour la préservation du maïs et du blé, car il perturbe le métabolisme des champignons, ce qui restreint leur développement sur les grains entreposés. Il faut suivre des protocoles stricts pour appliquer ces traitements, dans le but d'assurer leur efficacité et leur sécurité pour l'alimentation humaine et animale (**Magan et Aldred, 2007**). Les stocks de céréales contaminées par des mycotoxines peuvent être utilisés pour la production d'éthanol (**Guezlane -Tebibel et al., 2016**).

4.2.2. Utilisation des suppléments alimentaires pour neutraliser les mycotoxines

Il est possible d'incorporer certaines substances aux aliments des animaux pour contrer les effets des mycotoxines contenues dans les céréales contaminées. Cela inclut des liants à base d'argile (bentonite, montmorillonite), de charbon actif ou de levures inactives. Ces compléments adsorbent les mycotoxines dans l'appareil digestif, ce qui diminue leur

biodisponibilité et leur toxicité. Par exemple, la bentonite est efficace pour lutter contre les aflatoxines et la zéaralénone. Néanmoins, l'efficacité des adsorbants est influencée par la nature de la mycotoxine, la quantité administrée et la formulation utilisée (**Huwig et al., 2001**).

4.2.3. Aliments formulés pour améliorer la résistance des animaux aux effets des mycotoxines

Outre l'élimination directe des mycotoxines, une stratégie préventive supplémentaire consiste à élaborer des régimes alimentaires enrichis en nutriments particuliers qui renforcent le système immunitaire des animaux. Des antioxydants tels que la vitamine E, le sélénium, ou encore certains acides aminés (tels que la méthionine), aident à réduire les impacts néfastes des mycotoxines sur la santé des animaux. Par ailleurs, l'introduction de probiotiques ou de prébiotiques peut renforcer la solidité de la barrière intestinale, diminuant ainsi la perméabilité aux toxines fongiques (**Surai et Dvorska, 2005**).

4.2. Règlementation :

4.2.1. Règlementation concernant les niveaux de mycotoxines dans les Céréales

Les valeurs toxicologiques d'une substance active sont adoptées de manière unique et commune par l'ensemble des pays de l'UE. Pour une uniformisation internationale, le Codex Alimentarius, créé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) consiste en un recueil de normes, directives et recommandations valables pour tous les pays du monde. Ainsi, les denrées de consommation humaine notamment les céréales sont contrôlées et réglementées par la commission européenne (**Jard, 2009**).

Etant donné, les effets sur la santé humaine et animale provoqués suite à une intoxication par les mycotoxines, en 2003, l'Union Européenne a proclamé des réglementations strictes (recommandations N° 1425/2003 et N°1881/2006) en fixant les teneurs maximales pour chaque mycotoxine dans les aliments destinés à la consommation humaine y compris les céréales. Afin, de limiter la présence des mycotoxines dans l'alimentation humaine, de sauvegarder donc, la santé publique et d'encourager le commerce international des produits agricoles (**EL Khoury, 2017**).

4.2.2. Critères de sécurité alimentaire

La sécurité alimentaire exige que les aliments ne comportent aucun danger pour la santé des humains ou des animaux. Dans le cadre des infestations fongiques, cela implique que les produits doivent être dépourvus de niveaux nocifs de mycotoxines. Des organismes tels que l'EFSA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments) et la FDA (Food and Drug Administration) procèdent fréquemment à une évaluation des dangers associés aux mycotoxines présentes dans les aliments. Des dispositifs de contrôle et d'échantillonnage sont instaurés pour identifier les lots contaminés. Ces critères tiennent aussi compte des groupes vulnérables tels que les enfants, les femmes enceintes ou les animaux d'élevage (EFSA, 2020).

4.2.3. Limites tolérées pour les mycotoxines dans les céréales et les denrées d'origine animale

La réglementation fixe pour les principales mycotoxines, les concentrations maximales admises en alimentation humaine et animales. En général, les maxima admissibles sont très différents d'un pays à l'autre. En alimentation humaine les teneurs admissibles d'aflatoxine B1 sont généralement de 2 µg/kg (2 ppb). La Suisse et l'Autriche ont les tolérances des plus faibles, 1 µg/kg, alors que la République de Chine a les tolérances les plus fortes avec 50 µg/kg (Guezlane -Tebibel *et al.*, 2016). Le Tableau 9, regroupe les informations concernant les niveaux autorisés de mycotoxines dans les céréales selon l'UE.

Tableau 9 : Quantité maximale autorisée dans les céréales destinées à l'homme en Europe (d'après le règlement CE n°1881/2006).

Mycotoxines	Quantité maximale autorisée dans les céréales (µg/kg)
AFB1	2,0
OTA	5,0
ZEA	100,0
DON	750,0
FB1 + FB2	1000,0

Lorsque les animaux ingèrent des aliments contaminés, les mycotoxines peuvent se retrouver dans leurs produits, Par exemple, l'aflatoxine B1 est métabolisée en aflatoxine M1 qui est excrétée dans le lait. L'Union européenne fixe la limite maximale d'aflatoxine M1 à 0,5 µg /kg dans le lait. De ce fait, les teneurs maximales autorisées de mycotoxines dans les aliments pour le bétail concernent cinq mycotoxines. Elles sont en vigueur dans la communauté européenne (**Tableau 10**). Les quantités maximales autorisées dépendent des animaux pour lesquels les aliments sont destinés et de leur âge (**Tableau 10**) (**European Commission, 2006 ; FDA, 2022**).

Tableau 10 : Teneurs maximales recommandées (en µg/kg) en mycotoxines pour les aliments destinés à l'alimentation animale (**recommandations 2006/576/CE**)

Mycotoxines	Matrices	Seuils (ppb)
DON	Matières premières	
	Céréales et sous produits céréaliers	8000
	Sous produits du maïs	12000
	Aliments complémentaires ou complets	900
	Exception pour aliments porcs	2000
ZEA	Matières premières	
	Céréales et sous produits céréaliers	2000
	Sous produits du maïs	3000
	Aliments complémentaires ou complets	
	Porcelets et jeunes truies	100
	Truies et porcs à l'engraissement	250
	Veaux, bétail laitier, ovins, caprins	500
OTA	Matières premières	
	Céréales et sous produits céréaliers	250
	Aliments complémentaires ou complets	
	Porcs	50
	volailles	100
Fumonisines (FB ₁ +FB ₂)	Matières premières	
	Céréales et sous produits céréaliers	6000
	Aliments complémentaires ou complets	
	Porcs, chevaux, lapins, animaux de compagnie	5000
	poissons	10000
	Volailles, veaux (<4mois), agneaux et chevreaux	20000
	Ruminants adultes (>4mois), visons	50000

Tableau 11 : Teneurs maximales (en $\mu\text{g/kg}$) en AFB1 pour les aliments destinés à l'alimentation animale (**Directive 2002 32/CE du 07 05 02**)

Mycotoxines	Matrices	Seuils (ppb)
aflatoxines	Matières premières	50
	Sauf pour les matières premières issues du maïs et arachides	20
	Aliments complets	
	Bovins viandes, ovins, caprins	50
	Veaux et agneaux	10
	Bovins laitiers	5
	Porc et volailles	20
	autres	10

Conclusion

Les céréales constituent la base de l'alimentation humaine et animale à l'échelle mondiale. Elles occupent une place primordiale dans les systèmes agricoles et économiques de nombreux pays. Le blé, le maïs et l'orge figurent parmi les espèces les plus cultivées pour leur rendement élevé et leurs multiples utilisations (alimentation, Industrie, élevage). Cependant, ces cultures sont soumises à de nombreuses contraintes biotiques, notamment les pathologies fongiques, comme les fusarioses, les rouilles, les septorioses etc... responsables de pertes économiques significatives et de l'altération de la qualité des produits récoltés.

Parmi les agents pathogènes responsables de ces maladies, plusieurs espèces fongiques parasites des plantes occupent une place centrale comme les espèces de *Fusarium*, d'*Alternaria* de *Claviceps*..... Elles sont capables de parasiter divers organes des végétaux (graines, feuilles, tiges, épis, racines) et d'y provoquer des altérations physiologiques graves. Ces micromycètes peuvent se transmettre par le sol, les semences, les débris végétaux ou les spores véhiculées par l'air. Leur présence peut induire une baisse de rendement, mais aussi contaminer les grains destinés à la consommation, en particulier par la production de mycotoxines, substances toxiques dangereuses pour l'homme et les animaux.

Les micromycètes et leurs métabolites secondaires entraînent, à l'échelle mondiale, des pertes de céréales et de leurs dérivées. Elles sont omniprésentes dans la nature et possèdent un arsenal enzymatique très varié, ce qui leur permet de croître sur divers substrats.

La gestion des pathologies fongiques est devenue un enjeu prioritaire pour les agriculteurs, les industries céréalières, les chercheurs, mais aussi pour les autorités sanitaires. La lutte contre ces pathologies nécessite une approche globale et intégrée, fondée à la fois sur la prévention, la sélection variétal, les pratiques culturales, la protection phytosanitaire et la réglementation.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

A

- 01/ ABADAT, L., & HAMMECHE, D. (2020).** Synthèse bibliographique sur l'effet de l'itinéraire technique sur le rendement du blé dur. Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- 02/ ABOUDDRARE, A. (2009).** Évaluation des effets du travail du sol sur les propriétés physiques du sol et la productivité de la culture de blé dur en zone semi-aride. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- 03/ ABECASSIS, J. (2015).** La filière blé dur. INAR-UMR IATE.
- 04/ ABDEL MASSIH, M. (2007).** Moisissure : identification, source de contamination et moyens de lutte.
- 05/ ABDI, Y. (2015).** Distribution spatiale des maladies fongiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et effets de la fusariose sur le rendement en zones semi-arides de Sétif. Thèse de magister en agronomie.
- 06/ AGRIOS, G. N. (2005).** Plant Pathology (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- 07/ AIT-SLIMANE-KAKI, S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.
- 08/ ALDERMAN, S. C. (1993).** Aerobiology of *Claviceps purpurea* in Kentucky bluegrass. Plant Disease, 77.
- 09/ ALEM, K., & AMROUCHE, D. (2016).** Étude de l'activité fongique de l'extrait aqueux des pépins du pomélo *Citrus paradisi* vis-à-vis du *Fusarium tricinctum* du blé dur selon les modes in vitro et in vivo. Mémoire de Master.
- 10/ALEXOPOULOS, C. J., MIMS, C. W., & BLACKWELL, M. (1996).** Introductory Mycology (4th ed.). Wiley.
- 11/ALIX, M. J. MARC (2002).** Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur. Institut national de santé publique Québec.
- 12/AMMAR M. (2014).** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréalière en Algérie. Etat des lieux et perspectives. Master en sciences. Institut Agronomique méditerranéen de Montpellier. P: 121.
- 13/AUBERT, C. (1977).** La biologie des sols cultivés. Paris : Masson et Cie.
- 14/AWIKA, J. M. (2011).** Major Cereal Grains Production and Use around the World. In

Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion, pp. 1–13.

B

14/BAILEY, K. L., COUTURE, L., GOSSEN, B. D., GUGEL, R. K., MORRALL, R. A. A. (2004). Maladies des grandes cultures au Canada. Société canadienne de phytopathologie.

15/BATEMAN, G. L., & KWASNA, H. (1999). Effects of number of winter wheat crops grown successively on fungal communities on wheat roots. *Journal of Applied Ecology*, 36(1), 22–32.

16/BANQUE MONDIALE, FAO, (2012). La filière des céréales : sécurité alimentaire et gestion des importations de blé dans les pays arabes, Washington : Banque mondiale.

17/BENALI, D. (2015). Possibilité de lutte biologique contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *albbedinis* par l'utilisation d'antagonistes telluriques.

18/BENBELKACEM, A. (1991). Adaptation of cereals to extreme environments. *Field Crops Research*.

19/BENLARIBI, M. (1990). Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.).

20/BENMHIDI, O., & BOUKAABACHE, Y. (2018). Pépinière des principales maladies fongiques du blé dur.

21/BENMHIDI, O., & BOUKAABACHE, Y. (2018). Pépinière des principales maladies fongiques du blé dur dans la région de Constantine. Mémoire Master.

22/BEN NACEUR, M., CHAABANE, R., SDIRI, H., MEDDAHI, M. L., & SELMI, M. (2001). Effet du stress salin sur la germination...

23/BENNETT, J. W., & KLICH, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497–516.

24/BLACKWELL, M., VILGALYS, R., JAMES, T. Y., & TAYLOR, J. W. (2012). Fungi, Eumycota: mushrooms, sac fungi...

25/BOIRON, P. (1996). Organisation et biologie des champignons. Nathan.

26/BOTTALICO, A., & PERRONE, G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108(7), 611–624.

27/BOTTALICO, A., & LOGRIECO, A. (1998). Toxigenic *Alternaria* species of

economic importance. In: SINHA K. K., BHATNAGAR D. (Eds.), *Mycotoxins in agriculture and food safety*. Marcel Dekker Inc, New York.

28/BOTTON, B., BRETON, A., FÈVRE, M., GUY, P. H., LARPENT, J. P., & VEAU, P. (1990). Moisissures utiles et nuisibles.

29/BOUAKAZ, K., & OUSSAID, Y. (2013). Reconnaissances et identification des principales maladies cryptogamiques du blé et de l'orge.

30/BOUCHET, P., GUIGNARD, J.-L., & POUCHUS, Y.-V. (2005). *Les champignons, mycologie fondamentale et appliquée*. Paris : Masson, 2e éd., pp. 109–111.

31/BOUSSARD J.M., CHABANE M., (2011). La problématique des céréales en Algérie : défis, enjeux et perspectives, Communication dans le cadre des 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon, les 8 et 9 décembre 2011, <http://www.sfer.asso.fr/content/download/3961/33944/file/E2%20>

32/BOUBEKER, R., EZZAHIRI, B., & BENBELKACEM, A. (1996). Etude de la virulence de quelques isolats maghrébins de *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* agent de la rouille brune du blé. *Proceedings 2e symposium régional*.

33/BOURGEOIS, C. M., MESCLE, J. F., & JUCCA, J. (1996). *Microbiologie alimentaire*.

34/BOUDJEMAI, I. (2021). Impact des maladies foliaires sur la production des céréales dans la région de Telemcen.

35/BOUZID, N. (2008). Principales maladies fongiques des céréales et des légumineuses en Tunisie.

36/BOVÉ, F. J. (1970). Ergot and ergotism. In: *Ergot of rye* (pp. 1–293). Springer.

37/BOWMAN, S. M., & FREE, S. J. (2006). The structure and synthesis of the fungal cell wall. *BioEssays*, 28(8), 799–808.

38/BOZZINI, A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world.

39/BRAGER, A., RICHER, M. M., & ROUSTEL, S. (2007). *Alimentation, sécurité et contrôles microbiologiques*. Educagri.

40/BROWN, D. W., & PROCTOR, R. H. (2013). *Fusarium: genomics, molecular and cellular biology*. Caister Academic Press.

41/BROWN, N. A., URBAN, M., VAN DE MEENE, A. M., & HAMMOND-KOSACK, K. E. (2010). The infection biology of *Fusarium graminearum*: defining the pathways of spikelet to spikelet colonisation in wheat ears. *Fungal Biol*, 114, 555–571.

42/ BUERSTMAYR, H., BAN, T., & ANDERSON, J. A. (2009). QTL mapping and

marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding*, 128(1), 1–26.

43/**BÜCHLER, R., & HETZEL, H.** (1994). *Claviceps purpurea* and ergotism: biology and toxicology. In: MILLER J. D., & TRENHOLM B. M. (Eds.), *Mycotoxins in grain: Compounds other than aflatoxin* (pp. 145–162). Eagan Press

C

44/**CARLILE, M. J., WATKINSON, S. C., & GOODAY, G. W.** (2001). *The Fungi*. Academic Press.

45/**CARON, D.** (1993). *Maladies des blés et des orges*. ITCF.

46/**CHERMETTE, R., & BUSSIERAS, J.** (1993). *Parasitologie vétérinaire. Mycologie*. Édité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort.

47/**CHEHAT, F.** (2007). *Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie*. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.

48/**CLEMENT, J. P., & PRATS, S. A.** (1970). *Les labours profonds*. Terre-net.fr.

49/**CUMMINS, G. B., & HIRATSUKA, Y.** (2003). *Illustrated Genera of Rust Fungi* (3rd ed.). APS Press

D

50/**DAVET, P., & ROUXEL, F.** (1997). *Détection et isolement des champignons du sol*. INRA.

51/**DEACON, J. W.** (2006). *Fungal Biology* (4th ed.). Blackwell Publishing.

52/**DESJARDINS, A. E.** (2006). *Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology*. APS Press.

53/**DIAZ, D. E.** (2005). *The Mycotoxin Blue Book*. Nottingham University Press.

54/**DJERMOUN.** (2007). *La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques*.

55/**DUPONNOIS, R., & FARGETTE, M.** (2005). *Sols et santé des cultures*.

56/**DPVCT.** (2015). *Direction de la protection végétaux et des contrôles techniques*.

E

57/**EL KHOURY (2017)**. La lutte biologique contre l'ochratoxine A : utilisation des extraits de plantes médicinales ainsi que des souches d'actinobactéries et mise en évidence de leur mode d'action. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse. P

58/**EDWARDS, S. G.** (2004). Influence of agricultural practices on Fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Toxicology Letters*, 153(1), 29–35.

59/**ERWIN, D. C., & RIBEIRO, O. K.** (1996). *Phytophthora Diseases Worldwide*. APS Press.

60/**EYAL, Z.** (1999). The Fusarium head blight syndrome in wheat. *Phytopathology*, 89(10), 882–886.

61/**EZZAHIRI, B.** (2001). Les maladies du blé. Programme national de transfert de technologie en agriculture.

62/**EZZAHIRI, B., SAYOUD, R., & BOUZNAD, Z.** (1999). Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb. PNUD RAB/91/007.

63/**EFSA.** (2020). Risks for human and animal health related to the presence of deoxynivalenol (DON) in food and feed. *EFSA Journal*.

64/**EUROPEAN COMMISSION.** (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006. Official Journal of the European Union Regulation (EC) No 1881/2006. Official Journal of the European Union

F

65/**FEILLET, P.** (2000). Le grain de blé. INAR.

66/**FAO/WHO.** (2003). *Codex Alimentarius: Code of Practice for the Prevention and Reduction of Mycotoxin Contamination in Cereals*. Rome: FAO.

67/**FAO.** (2010–2014). Perspectives de récolte situation alimentaire.

68/**FAO.** (2015). Perspectives de récolte et situation alimentaire 1 : 7p.

69/**FDA.** (2022). Guidance for Industry: Action Levels for Aflatoxins in Animal Feeds. U.S. Food and Drug Administration

G

- 70/GUIRAUD, J. P.** (1998). Microbiologie alimentaire. DUNOD.
- 71/GUEFFIFA, M., DJELLAKH, F., MALOU, S., TAMALOUST, D., BERNAOUI, H., HERMEZ, F., ... TOUATI, S.** (2021). Guide des bonnes pratiques de la céréaliculture.
- 72/GUEZLANE-TEBIBEL, N.-T., KAHLOUCHE, B., & ATHAMANI, S.-G.** (2008). Microbiologie travaux pratiques. 2e éd.
- 73/GUEZLANE-TEBIBEL, N.-T., et al.** (2012). Les mycotoxines : un danger de santé publique.
- 74/GUEZLANE-TEBIBEL, N.-BOURAS N., OULD EL HADJ M. D.** (2016) Les mycotoxines : un danger de santé publique. Algerian journal of arid environment .vol. 6, n°1, page: 32-49.
- 75/GUPTA, A. K., BARAN, R., & SUMMERBELL, R. C.** (2000). Fusarium infections of the skin. Curr Opin Infect. Dis, 121–128.
- 76/GUYADER, S.** (2020). Maladies cryptogamiques : méthodes de lutte. Hal Science.

H

- 77/HAMEL, A.** (2016). Étude de l'antagonisme de Trichoderma sp vis-à-vis de Fusarium sp.
- 78/HEIT, S.** (2015). Identification de Fusarium et détection des mycotoxines associées par MALDI-TOF. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université de Lorraine.
- 79/HERITAGE, J., EVANS, E. G.-V., & KILLINGTON, R.-A.** (1996). Introductory Microbiology. Cambridge University Press.
- 80/HUWIG, A., FREIMUND, S., KÄPPELI, O., & DUTLER, H.** (2001). Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. Toxicology Letters, 122(2), 179–188

J

- 81/JARD, G.** (2009). Etude de différents modes d'élimination biologique de la zéaralénone, mycotoxine présente dans les céréales : Adsorption et Biotransformation. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. 140 P

82/JANSEN, C., VON WETTSTEIN, D., SCHAFER, W., KOGEL, K. H., FELK, A., & MAIER, F. J. (2005). Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102, 16892–16897.

83/JOFFE, A. Z. (1994). Ergotism and ergot alkaloids: Toxicology and pathogenesis. *Food Additives & Contaminants*, 11(2), 273–286.

84/JOHN, I. PITT, & HOCKING, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.).

85/JOUANY, J. P. (2007). Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3–4), 342–362

L

86/LABERCHE, J. C. (2010). *Biologie végétale*. 3e édition. Dunod, p. 212–215.

87/LAVERDIÈRE, M. R. (2005). Gestion de la fertilité des sols en culture maraîchère biologique.

88/LESLIE, J. F., & SUMMERELL, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.

89/LEYRAL, G., & VIERLING, E. (2007). Microbiologie et toxicologie des aliments.

90/LOGRIECO, A., MORETTI, A., SOLFRIZZO, M., & HAIDUKOWSKI, M. (2009). Alternaria toxins and plant diseases: An overview of recent results. *European Journal of Plant Pathology*, 125(1), 41–54

M

91/MAGAN, N., & ALDRED, D. (2007). Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 131–139.

92/MAGAN, N., HOPE, R., CAIRNS, V., & ALDRED, D. (2003). Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. *European Journal of Plant Pathology*, 109(7), 723–730.

93/MCMULLEN, M. P., & STACK, R. W. (2011). Fusarium head blight (scab) of small grains.

94/MENDGEN, K., & HAHN, M. (2002). Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends in Plant Science*, 7(8), 352–356.

95/MESTERHÁZY, Á., LEMMENS, M., & REID, L. M. (2012). Breeding for

resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breeding*, 131(1), 1–19.

96/ MEYER.A ; DEIANA A. ; BERNARD A. (2010). Cours de microbiologie générale avec problèmes et exercices corrigés. 2 ème édition Biosciences et techniques. P : 430.

97/MIEDANER, T., & JUROSZEK, P. (2021). Fungal pathogens of cereals under climate change. *Frontiers in Plant Science*.

98/MOORE, D., ROBSON, G. D., & TRINCI, A. P. J. (2011). 21st Century Guidebook to Fungi. Cambridge University Press.

99/MORSLI, L. (2010). Adaptation du blé dur dans les conditions des hautes plaines constantinoises.

100/MUNKVOLD, G. P. (2003). Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *European Journal of Plant Pathology*, 109(7), 705–713

N

101/NASRAOUI, B. (2008). Principales maladies fongiques des céréales et des légumineuses en Tunisie.

102/NASRAOUI, B. (2015). Les champignons et pseudo-champignons pathogènes des plantes cultivées.

103/NELSON, P. E., TOUSSOUN, T. A., & MARASAS, W. F. O. (1983). *Fusarium Species: An Illustrated Manual for Identification*. Pennsylvania State University Press.

104/NICKLIN, J., GRAEME-COOK, K., PAGET, T., & KILLINGTON, R. (2000). L'essentiel en microbiologie. BERTI

O

105/OERKE, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.

106/ORLICI, Z., & BENKARA, O. (2018). Contribution à l'étude de la flore fongique des semences de blé dur.

107/OSBORNE, L. E., & STEIN, J. M. (2007). Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 103–108

P

- 108/PARK, J. H., COX-GANSER, J. M., KREISS, K., WHITE, S. K., & RAO, C. Y. (2007). Hydrophilic fungi ergosterol...
- 109/PARRY, D. W., JENKINSON, P., & MCLEOD, L. (1995). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. *Plant Pathology*.
- 110/PAUL, P. A., LIPPS, P. E., & MADDEN, L. V. (2008). Meta-analysis of the effects of triazole-based fungicides on wheat yield and Fusarium head blight severity. *Phytopathology*, 98(2), 153–160.
- 111/PAYNE, G. A., & BROWN, M. P. (1998). Genetics and physiology of aflatoxin biosynthesis. *Annual Review of Phytopathology*, 36(1), 329–362.
- 112/PERAICA, M., RADIC, B., LUCIC, A., & PAVLOVIC, M. (1999). Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bulletin of the World Health Organization*, 77(9), 754–766.
- 113/PITT, J. I. (2000). Toxigenic fungi and mycotoxins. *British Medical Bulletin*, 56, 184–192

R

- 114/REBOUX, G. (2006). Mycotoxine : health effects and relationship to other organic compound.
- 115/REHACEK, Z., & SAJDL, P. (1990). *Ergot Alkaloids*. Amsterdam: Elsevier.
- 116/ROQUEBERT, M. F. (1998). Taxonomie des moisissures : Méthodes de culture et techniques d'observation, in: *Moisissures des aliments peu hydratés*. Paris: Tec & Doc, pp. 39–95.
- 117/ROTEM, J. (1994). *The Genus Alternaria: Biology, Epidemiology, and Pathogenicity*. APS Press.
- 118/RUIJTER, G. J., & VISSER, J. (1997). Carbon repression in *Aspergilli*. *FEMS Microbiology Letters*, 151, 103–114

S

- 119/SAVARY, S., et al. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*.
- 120/SAWAR, M., et al. (2013). The importance of cereals in human health. *Cereals and Oilseeds*, 4, 32–35. doi:10.5897/JCO12.023.
- 121/SAYOUD, R., EZZAHIRI, B., & BOUZNAD, Z. (1999). *Les maladies des céréales*

et des légumineuses alimentaires au Maghreb.

122/SCHUMANN, G. L., & D'ARCY, C. J. (2010). Essential Plant Pathology (2nd ed.). APS Press.

123/SÉBASTIEN, GUYADER. (2020). Maladies cryptogamiques : méthodes de lutte. Hal Science.

124/SINGH, R. P., et al. (2002). Will stem rust destroy the world's wheat crop? Advances in Agronomy, 87, 271–309.

125/SOLOMON, P. S., et al. (2006). The disruption of a Gα subunit sheds new light on the pathogenicity of the wheat pathogen *Stagonospora nodorum*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 19(6), 567–579.

126/SOLTNER, P. (2005). Les bases de la production végétale : la plante et son amélioration.

127/SUMMERELL, B. A., SALLEH, B., & LESLIE, J. F. (2003). A Utilitarian Approach to Fusarium Identification. Plant Disease, 87, 117–128.

128/SURAI, P. F., & DVORSKA, J. E. (2005). Effects of mycotoxins on the antioxidant status of animals. Feed Compounder, 25(6), 18–20.

129/SYLVIANE, D., & NADINE, Z.-R. (2011). Danger dans l'assiette

T

130/TAHANI, N., & ELAMRANI, E. (2008). Utilisation des produits de boulangerie rassis comme aliments pour animaux.

131/TABUC, C. (2007). Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines.

132/TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., & CASE, C. L. (2017). Introduction à la microbiologie.

133/TRENHOLM, H. L., PRELUSKY, D. B., YOUNG, J. C., & MILLER, J. D. (1988). Reducing Mycotoxins in Animal Feeds. Agriculture Canada, A63.

134/TUDZYNSKI, P., & SCHEFFER, J. (2004). *Claviceps purpurea*: Genetic approaches to study pathogenicity and ergot alkaloid biosynthesis. Mycological Research, 108(8), 880–893

V

135/VIAUX, P. (1999). Les semences fourragères. France Agricole

W

136/WAALWIJK, C., & VAN DER LEE, T. (2005). Occurrence and distribution of *Microdochium nivale* and *Fusarium* species.

137/WALTER, S., NICHOLSON, P., & DOOHAN, F. M. (2010). Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease. *New Phytologist*, 185, 54–66

Y

138/YAZAR, S., & OMURTAG, G. L. (2008). Fumonisin, Trichothecenes and Zearalenone in Cereals. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 2062–2090

139/XU, X., & NICHOLSON, P. (2009). Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 83–103.

140/XU, X. M., et al. (2008). Relationship between the fungal complex causing *Fusarium* head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology*, 98, 69–7

WEBOGRAPHIE:

- (1) : <http://tpeconservation1s2.free.fr/moisissures.html> date de consultation 10 /06/2025
- (2) : <http://acces.ens-lyon.fr/> date de consultation 20/05/2025
- (3) : <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/orge/> date de consultation 20/05/2025
- (4) : <https://www.mdpi.com/> <https://www.wikimedia.fr/orge/> date de consultation 20/05/2025
- (5) : <https://www.flickr.com/> date de consultation 20/05/2025
- (6) : <https://www.wikimedia.fr/org/puccinia-recondita> date de consultation 25/05/2025
- (7) : <https://www.sciencephoto.com> <https://wikipedia.com/org> date de consultation 26/05/2025
- (8) : https://www.diark.org/diark/species_list/Phaeosphaeria_nodorum_SN15 date de consultation 25/05/2025
- (9) : https://www.researchgate.net/figure/Macroconidia-of-Fusarium-graminearum-sensu-stricto-Retrieved-from-Wikimedia-Commons_fig1_342886178 date de consultation 24/05/2025
- (10) : https://www.researchgate.net/figure/Aspects-macroscopique-et-microscopique-des-especes-fongiques-isolees-a-partir-de-divers_fig4_351098470 date de consultation 23/05/2025
- (11) : <https://microbenotes.com/alternaria-alternata/> date de consultation 27/05/2025
- (12) : <https://www.pharmanatur.com/Mycologie/Clavicipitaceae/Claviceps%20purpurea.htm> date de consultation 14/05/2025
- (13) : <https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/protection-cultures/ressources-matiere-lutte-antiparasitaire-agriculture/nouveau-biofongicide-contre-fusariose-lepi-du-ble> date de consultation 16/05/2025
- (14) : https://www.researchgate.net/figure/Principaux-symptomes-de-fusariose-de-lepi-sur-epi-A-et-grain-de-ble-B-Linfection_fig4_287999727 date de consultation 17/05/2025
- (15) : <https://www.syngenta.fr/traitements/> date de consultation 12/06/2025
- (16) : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/rouille_jaune_du_ble/ date de consultation 17/05/2025

(17): <https://fac.umc.edu.dz/snv/> date de consultation 29/05/2025

(18) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Rouille_noire date de consultation 29/05/2025

(19) : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/rouille_noire_du_ble/ date de consultation 06/05/2025

(20) : [https://shs.cairn.info/les-filieres-cerealieres--9782759203185-page-3?lang=](https://shs.cairn.info/les-filieres-cerealieres--9782759203185-page-3?lang=fr)
fr (date de consultation 02 /06/2025).

ANNEXES

Annexe : Teneurs maximales (en µg/kg) en mycotoxines pour les produits alimentaires destinés à l'alimentation humaine

Les produits alimentaires	AFB ₁	AFM ₁	Somme de B ₁ , B ₂ , G ₁ et G ₂
Arachides destinées à être soumises à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	8,0		15,0
Amandes, pistaches et noyaux d'abricot destiné à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	12,0		15,0
Arachides, fruits à coque et produits dérivés de leur transformation, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	2,0		4,0
Fruits séchés destinés à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	5,0		10,0
Fruits séchés et produits dérivés de leur transformation, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	2,0		4,0
Toutes les céréales et tous les produits dérivés des céréales, y compris les produits de céréales transformés	2,0		4,0
Maïs destiné à être soumis à un traitement de triage ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédient de denrées alimentaires	5,0		10,0
Catégories suivantes d'épices: Capsicum spp (fruits séchés dérivés, entiers ou en poudre, y compris les piments, la poudre de piment, le poivre de Cayenne et le paprika) ; Piper spp (fruits dérivés, y compris le poivre blanc et noir) ; Myristica fragrans (noix de muscade) ; Zingiber officinale (gingembre) ; Curcuma longa (safran des Indes)	5,0		10,0
Lait cru, lait traité thermiquement et lait destiné à la fabrication de produits à base de lait		0,5	
Préparations pour nourrissons et préparations de suite, y compris le lait pour nourrissons et le lait de suite		0,025	
Aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales spécifiquement pour les nourrissons	0,1	0,025	
Préparations à base de céréales et aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge	0,1		

Ochratoxine A	Céréales brutes	5,0
	Tous les produits dérivés de céréales brutes, y compris les produits de céréales transformés et les céréales destinés à la consommation humaine directe	3,0
	Raisins secs (raisins de Corinthe, sultanines et autres raisins secs)	10,0
	Grains de café torréfié et café torréfié moulu, à l'exception du café soluble	5,0
	Café soluble (café instantané)	10,0
	Vins (y compris les vins mousseux, mais à l'exclusion des vins de liqueur et des vins ayant un titre alcoométrique volumique minimal de 15 %) et vins de fruits	2,0
	Vins aromatisés, boissons aromatisées à base de vin et cocktails aromatisés de produits vitivinicoles	2,0
	Jus de raisin, jus de raisin concentré reconstitué, nectar de raisin, moût de raisins et moût de raisins concentré reconstitué, destinés à la consommation humaine directe	2,0
	Préparations à base de céréales et aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge	0,5
	Aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales	0,5
	Capsicum spp. (fruits séchés dérivés, entiers ou en poudre, y compris les piments, la poudre de piment, le poivre de Cayenne et le paprika) Piper spp. (fruits dérivés, y compris le poivre blanc et le poivre noir) Myristica fragrans (noix de muscade) Zingiber officinale (gingembre) Curcuma longa (safran des Indes) Mélanges d'épices contenant une ou plusieurs des épices susmentionnées	30 g/kg du 1 ^{er} juillet 2010 au 30 juin 2012 15 g/kg du 1 ^{er} juillet 2012
	Réglisse (Glycyrrhiza glabra, Glycyrrhiza inflata et autres espèces). Bois de réglisse, ingrédient pour infusion	20 µg/kg
	Extrait de réglisse, pour utilisation dans des produits alimentaires, en particulier les boissons et la confiserie	80µg/kg
	Café vert, fruits séchés autres que les raisins secs, bière, cacao et produits à base de cacao, vins de liqueur, produits à base de viande, épices et réglisse	----
Zéaralénone	Céréales brutes sauf maïs	100
	Maïs brut à l'exception du maïs brut destiné à être transformé par mouture humide	350
	Farines autres que de maïs, germes, sons et céréales pour consommation directe,	75
	Huile de maïs raffinée	400
	Pain, pâtisseries, biscuits, snacks, petits déjeuners	50
	Maïs destiné à la consommation humaine directe, collations à base de maïs et céréales pour petit-déjeuner à base de maïs	100
	aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge 20	20
	Préparations à base de céréales pour alimentation infantile	20
Fumonisinés B₁+B₂	Maïs brut à l'exception du maïs brut destiné à être transformé par mouture humide	4000
	Maïs destiné à la consommation humaine directe, aliments à base de maïs destinés à la consommation humaine directe	1000
	Céréales pour petit-déjeuner à base de maïs et collations à base de maïs	800
	Préparations à base de maïs et aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge	200
Déoxynivalénol	Céréales brutes, autres que le blé dur, l'avoine et le maïs	1250
	Blé dur et avoine bruts	1750
	Maïs brut à l'exception du maïs brut destiné à être transformé par mouture humide	1750
	Céréales destinées à la consommation humaine directe, farine de céréales, son et germe en tant que produit fini commercialisé pour la consommation humaine directe, à l'exception des denrées alimentaires figurant aux points	750
	Pâtes (sèches)	750
	Pain (y compris les petits produits de boulangerie), pâtisseries, biscuits, collations aux céréales et céréales pour petit-déjeuner	500
	Préparations à base de céréales et aliments pour bébés destinés aux nourrissons et enfants en bas âge	200